ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre
du progrès des sciences au service
du genre humain

VOLUME X Juillet 1951 NUMÉRO 39

SOMMAIRE

Article de Tête: Un siècle de science britannique (1851–1951), I 117

523.2:523.11
Origine du système solaire — SIR HAROLD SPENCER JONES — 119

52 (=927)
La tradition islamique en astronomie — H. J. J. WINTER — 126

599.5
Quelques baleines de petite taille — H. BOSCHMA — 131

551.351.5
La forme des récifs de corail — C. M. YONGE — 136

576.8.097:581.296:632.96
Antibiotiques et antagonismes microbiens en pathologie végétale — ERNA GROSSBARD — 145

581.19:546.212
L'eau dans l'architecture des plantes — T. A. BENNET-CLARK — 151

662.747.6
La gazéification souterraine du charbon — H. ROXBEE COX — 155

581.192.4:541.132.3:547.46/.47
Les acides végétaux chez les plantes supérieures — MEIRION THOMAS — 160

049.3
Revue des livres 166

Livres reçus 169

Notes biographiques sur les collaborateurs 170

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries Limited, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, 26 Dover Street, Londres, W.1

Un siècle de science britannique (1851–1951)

I

La Science appartenant à tous les pays et à tous les temps, c'est donc commettre une double erreur que de dresser le bilan de la science britannique au cours du siècle écoulé. Cette réserve faite cependant, un tel travail est loin d'être inutile, car personne n'ayant l'esprit universel au point d'être inaccessible à l'influence de son temps et de son entourage, nous pouvons nous attendre à une certaine unité — difficile peut-être à discerner — dans les apports des savants britanniques au progrès de la Science depuis la grande exposition qui s'est tenue à Londres en 1851. Nous ne tenterons pas ici de préciser l'unité en question, mais le lecteur perspicace pourra s'en faire une idée juste.

La suprématie britannique en astronomie d'observation établie par les travaux des Herschel et de Lord Rosse prit fin vers le milieu du siècle dernier; elle passa alors aux Etats-Unis qui ne s'en sont pas encore dessaisis, surtout en ce qui concerne l'usage du télescope. Pour ce qui est de la partie spectroscopique, Huggins et Lockyer furent les pionniers de l'astrophysique, devenue actuellement partie essentielle de l'astronomie. Huggins fut l'initiateur de l'étude des vitesses radiales des corps célestes, à laquelle nous devons le plus clair de ce que nous savons de la structure et du mécanisme de l'univers. Il révèle la nature de la substance nébulaire, et bientôt après Lockyer explique de manière analogue les protubérances solaires: ils inaugurent ainsi la méthode actuellement classique d'attaquer le problème de la composition chimique de l'univers. D'autre part l'hypothèse, longtemps décriée, de Lockyer selon laquelle les atomes des étoiles à température très élevée se dissocient en leurs éléments plus simples a mis les savants sur la voie de la solution du problème de l'état physique de l'univers et des découvertes sensationnelles dans le domaine atomique qui ont révolutionné la physique. Quand on eut enfin compris l'hypothèse de la dissociation émise par Lockyer, l'interprétation théorique de ses travaux, d'abord par Saha puis par R. H. Fowler et Milne, aboutit en droite ligne à nos connaissances actuelles touchant la matière des atmosphères stellaires. Au moment où, l'importance de la spectroscopie astronomique étant établie, cette science émigrait vers des pays mieux équipés pour l'étudier tant par la nature que par la libéralité de l'homme, une nouvelle branche de l'astronomie prenait naissance en Grande-Bretagne grâce aux travaux d'Eddington: l'étude théorique des conditions qui existent à l'intérieur des étoiles et dans les espaces interstellaires.

A l'époque de la Grande Exposition la doctrine de l'énergie, une des réalisations capitales de la Science, commençait à s'imposer. La loi de la conservation de l'énergie — la première en thermodynamique — est l'aboutissement des travaux de Joule notamment, tandis que ceux de William Thomson (Lord Kelvin) ont grandement contribué à l'élaboration de la deuxième loi, celle de la dégradation. C'est surtout Clerk Maxwell qui a appliqué ces lois à l'hypothèse d'une structure moléculaire de la matière: ses travaux ainsi que ceux de Boltzmann et ceux, quelque peu différents, de Gibbs, constituent le fondement de la théorie cinétique des gaz. Les conceptions théoriques modernes en électromagnétisme reposent sur les travaux de Maxwell et de Larmor: elles expriment sous une forme mathématique les idées précédemment formulées par Faraday et eurent des suites marquantes que Maxwell lui-même entrevit, notamment la théorie électromagnétique de la lumière qui a uni l'optique à l'électromagnétisme. Maxwell est donc à la fois l'initiateur du concept particule et du concept champ en physique, dont les rapports mutuels constituent une des énigmes de la science moderne. Toutefois sa théorie de l'indestructibilité de la molécule, à laquelle Lockyer opposa celle de la dissociation, fut radicalement modifiée à la fin du XIXe siècle par la découverte de l'électron due à J. J. Thomson.

Rutherford tira le meilleur parti possible de cette nouvelle circonstance qui coïncide avec la découverte en Europe continentale de la radioactivité et des rayons X. Une singulière originalité de conception et de méthode le conduisit à assimiler l'atome à un système planétaire, ce qui permit à ses disciples Moseley et Bohr de se faire une idée de la structure extérieure de l'atome et du mécanisme de la radiation. Plus tard Rutherford, continuant dans cette voie, et secondé par nombre de savants, révéla au monde les secrets du noyau atomique. Les expériences de A. Fowler, disciple de Lockyer, contribuèrent puissamment à la mise au point de la théorie de Bohr sur les

radiations, que l'on peut décrire comme étant la forme pratique de l'hypothèse de la dissociation. Les études nucléaires dominent actuellement toutes les autres branches de la physique.

Les chimistes ont devancé les physiciens en émettant l'hypothèse de la discontinuité de la matière et ce n'est que vers la fin du XIXe siècle que fut mis en lumière le rapport véritable entre les atomes de Dalton et les molécules de Maxwell. Par la suite les travaux des physiciens donnèrent à la table périodique des prolongements que ni Newlands, qui fut le premier à signaler la relation entre les propriétés et le poids atomique d'un élément, ni Mendeléev qui développa et imposa le système, n'avaient envisagés. Il convenait donc que la découverte de tout un groupe d'éléments, les gaz rares, fût le résultat des travaux communs d'un chimiste, Sir William Ramsay, et d'un physicien, Lord Rayleigh. Ces gaz — notamment l'hélium, découvert par Lockyer dans le Soleil et classé parmi les éléments 27 ans avant d'être isolé sur la Terre — ont joué un rôle de premier plan dans l'élucidation des rapports entre les éléments. Les premiers travaux sur la fission de l'atome révélèrent à Soddy les isotopes, c'est-à-dire, les éléments qui bien que de poids atomiques différents occupent la même case de la table périodique et sont chimiquement identiques. Le spectrographe de masse de J. J. Thomson perfectionné par Aston a permis de constater l'existence d'un grand nombre de ces isotopes et de justifier dans une certaine mesure l'hypothèse de Prout que tous les éléments résultent de l'agrégation d'atomes d'hydrogène. Enfin, faute d'espace, nous ne ferons que mentionner les travaux de Sir William et Sir Lawrence Bragg dans le domaine jusque-là inexploré de la détermination de la structure des cristaux au moyen des rayons X.

On peut affirmer sans crainte de se tromper que l'étude de la biologie ne reposait en 1851 sur aucun principe directeur: cette science était au même point que l'astronomie au moment où l'on dressait les premières cartes du ciel. Les données en biologie dépassaient de beaucoup en complexité celles de l'astronomie, et leur étude dépendait du microscope au moins autant que l'astronomie du télescope. Mais en 1859 la théorie de l'évolution par sélection naturelle que nous devons à Darwin et à Russel Wallace est révélée avec éclat aux publics savant et profane par le livre de Darwin «L'origine des espèces» qui donne à la biologie une orientation précise: il propose la recherche scientifique de l'ascendance de chaque espèce et montre du même coup l'identité d'objet qui existe entre certaines recherches tenues jusque-là pour distinctes, en anthropologie, ethnologie, géologie, paléontologie, physiologie, anatomie et autres sciences. Ce sont il est vrai des savants continentaux qui ont fourni à la science la théorie de l'hérédité, cette autre étape capitale de la biologie, et qui ont découvert l'existence et l'importance des mutations: mais le savant britannique Bateson et ses disciples ont continué brillamment l'exploration de ces domaines. On ne peut parler d'hérédité sans se souvenir des travaux originaux et essentiels de Galton: celui-ci n'a ni trouvé ni recherché des lois générales, mais en introduisant et perfectionnant des méthodes nouvelles il a facilité des progrès au moins aussi importants, notamment dans le domaine pratiquement inexploré de la transmission héréditaire des caractères mentaux.

Les progrès de la science revêtent de plus en plus la forme de l'élucidation des menus faits, aboutissant de temps en temps à la formulation de lois générales: celles-ci marquent les étapes dans la marche en avant, mais les travaux préliminaires sont tout aussi importants et font appel à des compétences aussi élevées bien que différentes. On ne peut commencer à citer les travaux qui serviront de base aux investigations des générations futures sans se rendre compte du caractère arbitraire d'un choix malheureusement nécessaire. Cependant, bien que nous ayons le bonheur de l'avoir encore parmi nous, il est impossible de passer sous silence les remarquables travaux, appelés à devenir classiques, de Sir Charles Sherrington sur le rôle unificateur du système nerveux. Bayliss en découvrant les hormones et Gowland Hopkins les vitamines, ces auxiliaires indispensables de l'alimentation, ont augmenté le patrimoine scientifique d'un apport précieux. Leurs travaux s'apparentent sans doute à ceux de leurs devanciers qui recherchaient la vérité pour elle-même: mais, d'autre part c'est surtout en biologie, qu'il devient de plus en plus difficile de distinguer les apports scientifiques fondamentaux de leur utilisation médicale préventive et curative. Ici encore il est impossible en toute équité de classer les événements par ordre d'importance: Lister par la découverte de l'asepsie chirurgicale, et Ross par l'identification du moustique propagateur de la malaria, contribuèrent peu au progrès de la science pure; par contre, en mettant la science au service de la médecine ils ont amélioré la condition humaine!

Origine du système solaire

SIR HAROLD SPENCER JONES

Régularités des caractères du système solaire, et exposé critique des diverses théories quant à l'origine de ce système. La théorie moniste (Kant, Laplace) suppose une évolution à partir d'un système primordial; les théories dualistes (Jeans, Lyttleton, Hoyle, Jeffreys) font intervenir un autre corps céleste. La théorie d'Alfvén suppose l'existence d'un champ magnétique, et enfin la théorie de Weizsäcker, modification de celle de Kant, est pleine de promesses.

Le système solaire présente dans ses propriétés physiques comme dans ses propriétés dynamiques, tant de régularités, que sa formation ne peut être due au hasard. Ce fut Laplace qui, le premier, mit ce fait en lumière: dans son «Exposition du système du Monde» (1796), il fit remarquer que les planètes tournent autour du soleil dans la même direction et, à peu près dans le même plan; que les satellites tournent autour de la planète mère dans cette même direction, et à peu près dans le même plan que les planètes, que la rotation sur eux-mêmes du soleil, des planètes, et des satellites se fait dans le même sens que leur révolution; enfin que les équateurs sont peu inclinés sur les orbites. Laplace estima qu'il y avait plus de deux cent mille milliards ($2 \cdot 10^{14}$) de chances contre une pour que ces régularités ne fussent pas dues au hasard.

Depuis l'époque de Laplace, le système solaire s'est enrichi de la découverte de deux planètes, de 15 satellites et des astéroïdes (plus de 1500). A quelques exceptions près, ces membres supplémentaires présentent les mêmes régularités. Le système solaire présente un autre trait significatif, omis par Laplace: les excentricités des orbites des planètes et de leurs satellites sont petites, sauf de rares exceptions. Toute théorie sur l'origine du système solaire qui n'expliquerait pas ces caractéristiques serait à rejeter.

Mentionnons d'autres traits caractéristiques. Les planètes peuvent être classées en deux groupes présentant d'importantes différences; le groupe des planètes intérieures: masse relativement petite, densité élevée, rotation lente, satellites rares; celui des planètes extérieures: masse importante, faible densité, rotation rapide, satellites nombreux. La plus extérieure des planètes, Pluton, présente maintes anomalies.

Bode formula en 1772 une curieuse loi empirique relative aux distances du soleil aux diverses planètes. Elle peut se formuler comme suit:

$$r_n = a + b \cdot 2^n$$

où r_n représente la distance au soleil de la *n*ième planète, a et b étant des constantes.

Cela suppose entre Mars et Jupiter, une planète qui manquait à l'époque où la loi fut formulée. On peut considérer la lacune comme comblée par la découverte ultérieure des astéroïdes, restes possibles d'une planète désagrégée. On ne découvrit Uranus, Neptune et Pluton qu'après 1772. C'est en se servant tous deux de cette loi qu'Adams et Leverrier prédirent la position de la planète inconnue tenue pour responsable des perturbations d'Uranus; mais Neptune n'y obéit pas très bien et Pluton pas du tout. Cependant, en ajustant les constantes de la formule, on peut l'adapter mieux aux planètes extérieures. Il est assez aisé de faire entrer dans une loi similaire les distances à leur planète mère des différents satellites de Jupiter, Saturne et Uranus. Donc, cette forme de loi des distances a peut-être une valeur significative du mode de formation du système solaire.

La répartition du moment cinétique du système solaire est curieuse. Le Soleil qui représente plus de 99% de la masse du système, ne contribue par sa rotation, qu'à 2% à peine du total, tandis que les grandes planètes qui représentent moins d'un septième pour cent de la masse totale, sont l'origine, par leur révolution, de la presque totalité (98%) du moment cinétique du système. La contribution de la rotation des planètes et de la révolution de leurs satellites est négligeable. Les systèmes satellites des grandes planètes présentent une répartition tout-à-fait différente, la contribution de la rotation du corps central étant de beaucoup la plus forte.

On a proposé un très grand nombre de théories différentes du système solaire, car ce problème s'est révélé le plus difficile des problèmes cosmogoniques. Ces théories peuvent être rangées sous deux rubriques, monistes et dualistes. Les premières avancent que le système provient d'un système primordial ayant subi un processus d'évolution sans l'intervention de forces étrangères;

d'après les théories dualistes, il se forma par l'intermédiaire de quelque autre corps céleste, intervention souvent supposée cataclysmique.

La première théorie valable fut proposée en 1755 par Emmanuel Kant dans son «*Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*». Il suppose qu'à l'origine le Soleil se trouvait au centre d'une nébuleuse qui gravitait autour sous l'effet de la pesanteur. Des chocs entre les différentes particules aplatirent la nébuleuse en un disque dont la substance se rassembla peu à peu autour des noyaux les plus denses, formant ainsi plusieurs systèmes plus petits, tous en rotation. Selon Kant une évolution similaire eut lieu dans chaque sous-système, pour former soit une planète, soit un ensemble planète-satellites. Plus le sous-système est important, plus grande est sa force d'attraction et plus nombreux sont les satellites. La théorie rend compte de façon plausible de l'unité de plan orbital et de l'unité de direction de rotation et de révolution, mais elle n'explique pas la répartition du moment cinétique. Evidemment, Kant ignorait cette difficulté. La théorie a son intérêt car, nous le verrons, elle a été reprise récemment, avec certaines modifications.

Laplace, qui ignorait la théorie de Kant, en proposa une autre, dans son «Exposition du Système du Monde». Il supposa que le soleil était entouré à l'origine d'une atmosphère gazeuse à haute température, qui se contracta en se refroidissant graduellement. La vitesse de rotation augmenta à mesure, jusqu'à ce que la force centrifuge à l'équateur devînt supérieure à l'attraction de gravitation et qu'un anneau de matière fût alors projeté hors de la masse. La répétition du processus donna naissance à une série d'anneaux. La masse centrale devint notre Soleil. On supposa que chaque anneau se condensa en une nébuleuse secondaire qui subit le même sort, donnant ainsi naissance aux systèmes planète-satellites.

La théorie de Laplace est insoutenable pour plusieurs raisons. Clerk Maxwell, en 1859, montra qu'un anneau tel que celui qu'aurait projeté la masse en train de se contracter, ne s'amalgamerait pas en un seul corps, mais que son état final et stable consisterait en un grand nombre de corps plus petits; de cette manière pourrait naître un essaim d'astéroïdes, mais non pas une planète. La théorie se heurte aussi à la difficulté du moment cinétique: si la totalité du moment cinétique du système solaire était concentrée dans le Soleil, sa période de rotation, au lieu d'être, comme à présent, de 27 jours, serait de 12 heures environ, et d'ailleurs même s'il en était ainsi la force centrifuge à son équateur ne dépasserait pas 5% de l'attraction gravitationnelle, de sorte que la projection d'anneaux de matières supposée par Laplace n'aurait pu avoir lieu.

C'est Fouché qui le premier, en 1884, signala le problème du moment cinétique. Il est inhérent à toute théorie moniste. Il était donc naturel de rechercher si on ne pouvait construire une théorie valable en supposant que le moment cinétique du système avait été changé par l'intervention d'un corps étranger. Chamberlin et Moulton, en 1910, suggérèrent qu'un autre astre au hasard de sa course à travers l'espace, passa près du soleil. Les deux corps, attirés mutuellement par leurs forces de gravité, se rapprochèrent sur des trajectoires hyperboliques jusqu'à quelques diamètres solaires de distance, puis se séparèrent. L'attraction due au passage de l'astre provoqua à la surface du soleil une énorme marée qui, avec l'expansion des gaz chauds comprimés, produisit une série d'éruptions énormes. La substance jaillissante fut entraînée par l'attraction de gravitation de l'astre étranger qui lui imprima une rotation en orbites excentriques autour du soleil sensiblement sur le même plan. Chamberlin et Moulton supposèrent que cette matière se serait condensée en gouttelettes liquides ou «planétésimales», qui se seraient rapidement solidifiées, si bien que les plus grandes particules auraient augmenté de masse, d'abord par union avec d'autres particules rencontrées au hasard des chocs, puis par adhérence due à l'attraction gravitationnelle. La substance résiduelle aurait formé un milieu résistant, qui aurait progressivement réduit l'excentricité des orbites à une faible valeur. Une petite quantité de substance aurait disparu du système; une autre serait retombée sur le soleil pour lui donner une rotation dans la même direction que le mouvement orbital. On supposa de même que les planètes prirent leur rotation en recevant cette substance à laquelle l'astre avait imprimé un certain moment. Les satellites provenaient de noyaux plus petits à proximité des gros noyaux planétaires.

Jeffreys objecta que les collisions entre les «planétésimales» seraient si fréquentes et se produiraient à de telles vitesses, qu'elles seraient volatilisées en un mélange de gaz et de fine poussière bien avant une amalgamation appréciable. Jeans et Jeffreys proposèrent donc une modification de cette théorie planétésimale. Au moment où il fut le plus proche, l'astre fit jaillir du soleil une grosse protubérance et de la pointe de son sommet s'étira une coulée de substance sous

la forme d'un long filament à l'allure de cigare. Ce filament, peu solide longitudinalement, devait donc se briser sous l'effet de sa propre gravitation, en un chapelet de masses distinctes ou protoplanètes, dont les plus petites se trouvaient aux extrémités et les plus grandes au centre. Chacune des masses principales aurait décrit une orbite elliptique autour du soleil. Les satellites seraient nés d'une fragmentation éruptive des protoplanètes par attraction solaire au premier passage au périhélie après leur formation. Les faibles excentricités des orbites planétaires et la rotation du soleil et des planètes s'expliquent comme dans la théorie précédente.

Aussi plausible qu'elle paraisse à première vue, cette théorie ne laisse pas de présenter de sérieuses difficultés. Les forces du flux éruptif agissant sur le filament, pourraient lui imprimer un mouvement de translation, mais pas de rotation, ou à peine. Jeffreys calcula que pour expliquer la rotation de Jupiter, il faudrait supposer qu'une quantité de matière 400 fois supérieure à celle de tous ses satellites y fût retournée pour être absorbée, ce qui paraît impossible. Ensuite, Nölke mit en doute que la résistance du milieu eût pu provoquer les faibles excentricités des orbites; la plupart des chocs entre les particules de ce milieu et une planète n'étant sans doute pas élastiques, seul un très gros accroissement de la masse par accrétion (accroissement peu plausible) aurait pu réduire de beaucoup l'excentricité. En outre, la substance provenant du soleil serait à une température dépassant un million de degrés, et sous pression élevée (plus d'un million d'atmosphères). En 1939, Spitzer fit remarquer qu'elle tendrait à se dissiper rapidement à travers l'espace; à une température d'un million de degrés, les atomes d'hydrogène par exemple, ont une vitesse moyenne d'environ 160 km/s. Il semble impossible qu'aucune condensation ait pu se produire avant que la substance se soit dissipée.

Pour éluder la difficulté concernant la rotation des planètes, Jeffreys modifia sa théorie en admettant qu'aurait eu lieu, non un rapprochement très serré de l'astre et du soleil, mais une véritable rencontre, comme le choc de deux ballons. Les deux corps se seraient approchés l'un de l'autre, à d'énormes vitesses et à mesure d'énormes marées se seraient soulevées à leurs surfaces; à partir des protubérances formées, des matériaux ont dû faire irruption avant même que le choc ait véritablement eu lieu. A l'instant de la rencontre, les lourds noyaux des deux astres se seraient rapprochés en décrivant des trajectoires serrées, puis séparés pour s'éloigner ensuite dans l'espace. Les parties les plus proches du soleil et de l'astre se seraient mêlées et sous d'énormes pressions, auraient été portées à des températures de plusieurs millions de degrés. Le choc tangentiel aurait provoqué un rapide mouvement de rotation; au moment de cette séparation, un filament de matière gazeuse chaude, animé d'un mouvement de tourbillon rapide, se serait étiré entre les deux astres. La suite des phénomènes aurait été sensiblement la même que dans le cas du simple rapprochement. L'objection de Spitzer est encore valable pour cette forme de la théorie.

Pour expliquer la répartition du moment cinétique, Jeans avait supposé qu'au moment de la formation des planètes, le soleil avait beaucoup plus d'extension que maintenant, de sorte que la substance qui, en se condensant, donna les planètes extérieures, n'eut pas à atteindre une très grande distance. Mais on a depuis appris beaucoup de choses sur l'évolution des astres et l'on sait que lorsque naquit le système solaire, il y a quelques milliers de millions d'années, le soleil était presque dans son état actuel. La substance qui constitua Jupiter dut donc s'écarter d'une distance sensiblement égale au centuple de la distance entre le soleil et l'astre, tandis que celle qui constitua Neptune eut à s'écarter d'environ 500 fois cette distance. A de telles distances, la matière aurait un mouvement à peu près radial à partir du soleil et son moment cinétique serait donc très réduit. Russell a démontré qu'en faisant les hypothèses les plus favorables, le moment cinétique par tonne de matière expulsée serait inférieur au dixième du moment cinétique moyen par tonne du système planétaire.

Il faut donc conclure qu'on ne peut rien tirer d'une théorie de la collision qui supposerait que les planètes proviennent de matériaux solaires. Russell suggéra donc que le soleil fût peut-être à l'origine un astre binaire, ayant un petit satellite à une distance de l'ordre de celles des grandes planètes actuelles, et que l'astre étranger entra en collision, non pas avec le soleil, mais avec son compagnon. On évite ainsi la difficulté du moment cinétique: il existe déjà par suite de la révolution orbitale du compagnon. Lyttleton étudia cette hypothèse. Il montra que, dans certaines conditions, il aurait été possible au compagnon du soleil, comme à l'astre en collision, d'échapper au voisinage du soleil, tout en laissant dans le champ de gravitation du soleil une quantité suffisante de la matière détachée par la collision pour former les planètes. L'objection de

Spitzer, que la matière expulsée ne se condenserait pas en planètes, est toujours valable, et on n'explique pas les différences entre planètes intérieures et extérieures.

Pour tourner les difficultés relatives à la condensation, Lyttleton suggéra un processus de formation des planètes en deux étapes. Si l'astre a été brisé en fragments par la collision, il a pu y en avoir un ou plusieurs morceaux assez importants pour être maintenus ensemble par gravitation. Lors du refroidissement, ou de la contraction d'un morceau, sa vitesse de rotation a pu s'accroître au-delà des limites de stabilité, amenant la rupture en deux corps séparés; des perturbations secondaires auraient détaché d'autres fragments plus petits, qui auraient accompagné les corps principaux pour former les satellites. D'autres fragments auraient formé les planètes intérieures et la lune. Il faut au moins deux corps principaux séparés pour expliquer la formation des plus grandes planètes. Il y a une forte objection: la vitesse de rotation nécessaire à l'instabilité, et à la séparation est nettement supérieure à celle de toutes les planètes.

Pensant qu'une désagrégation pouvait avoir joué un rôle important dans la formation du système, Lyttleton a avancé une nouvelle théorie. Il suppose que le soleil était à l'origine une étoile triple, avec deux compagnons plus petits à proximité. Son argument se fonde sur l'opinion que l'évolution d'un système binaire rapproché est associée à l'agglomération de matière stellaire par attraction gravitationnelle. L'accroissement lent de masse des deux composantes ferait alors progressivement diminuer leur séparation, et pourrait amener leur fusion. Le moment cinétique du corps résultant pourrait être trop grand pour que le système soit stable; il se scinderait en deux corps, qui pourraient, dans des circonstances favorables, échapper tous les deux du système, en laissant seulement une traînée de matière, partie des débris du cataclysme, qui aurait pu être l'origine des planètes. Cette théorie s'expose aux mêmes objections que les autres théories où il y a expulsion à partir d'une étoile, et elle ne semble pas capable de rendre compte de bien des régularités du système solaire.

Hoyle a proposé une théorie cataclysmique différente: il suppose que le système faisait partie d'un système binaire, avec un compagnon très massif, qui se transforma en ce que l'on appelle une supernova. Une telle étoile traverse une période d'instabilité, où sa brillance s'accroît en quelques jours de 15 ou 20 magnitudes stellaires, en émettant durant sa brève éruption, autant d'énergie que le soleil en un million d'années. Il y a expulsion de matière à une température de plusieurs millions de degrés, avec des vitesses qui atteignent plusieurs milliers de kilomètres à la seconde, en quantité totale peut-être égale à plusieurs fois la masse du soleil. Hoyle suggère qu'une asymétrie de quelques unités pour cent dans cette expulsion serait suffisante pour donner à l'astre un recul qui briserait son lien gravitationnel avec le soleil. Avant l'explosion, la distance aurait été de l'ordre de la distance du soleil à Jupiter.

La matière expulsée au début de l'éruption aurait eu une vitesse trop grande pour être capturée par le soleil, mais sur la fin, la vitesse d'expulsion diminuant rapidement, on peut concevoir qu'une traînée de matière ait été capturée par le soleil et condensée pour former des planètes. Il n'y a pas de difficulté pour le moment cinétique des planètes, car il préexiste dans le système, tandis qu'on explique la rotation directe des planètes comme dans les autres théories cataclysmiques. L'objection que la matière éjectée à une température extrêmement élevée serait dissipée avant d'être capturée par le soleil et de se condenser, est encore plus valable pour cette théorie. L'idée fondamentale de la théorie est que la terre, et d'après Hoyle, les autres planètes contiennent relativement peu d'hydrogène et d'hélium, les deux éléments cosmiquement les plus abondants. Hoyle pense qu'une supernova est une étoile dont la température interne est si élevée qu'elle a employé presque tout son hydrogène à la formation d'éléments plus lourds. Il y a, pourtant, de fortes raisons de penser que les planètes terrestres ont perdu la plus grande partie de leur hydrogène et de leur hélium au début de leur histoire, tandis que la faible densité moyenne des plus grandes planètes prouve que leur atmosphère, très vaste, contient encore une grande quantité de ces gaz légers.

Les nombreux échecs des tentatives de théories dualistes ont remis en faveur, ces dernières années, les interprétations monistes, qui ne font appel, ni à un autre astre, ni à un système double ou triple dont le soleil aurait fait partie.

On a montré récemment qu'il y a dans les régions galactiques de nombreux nuages interstellaires de gaz ou de petites particules, appelés fumées par commodité. Whipple suppose que le soleil et les planètes se sont formés dans un nuage de gaz et de fumée de ce type, supposé doué d'un rayon de 30 000 unités astronomiques, et d'une

masse totale pas beaucoup plus grande que celle du soleil. Le nuage se contracta sous l'effet de son attraction gravitationnelle, tandis que le soleil se formait par condensation à partir du plus gros agrégat. On a observé des mouvements différentiels dans certains des nuages; Whipple suppose que les planètes ont été formées par condensation dans un courant au sein du nuage. On résoud ainsi par un biais la difficulté du moment cinétique, en supposant qu'il y en a, au commencement, la quantité voulue. Les condensations, en mouvement dans le nuage, s'accroîtraient par amalgamation de matière à moment cinétique nul; elles devraient donc tourner en spirales dans la direction du soleil. Whipple donne une explication qualitative des rotations planétaires, mais d'autres régularités du système demeurent inexpliquées, et il faudra encore beaucoup développer la théorie avant de pouvoir décider si elle peut donner une explication plausible de l'origine du système solaire.

Alfvén, partant d'idées nouvelles, a développé une théorie extrêmement intéressante. Elle se fonde sur l'existence d'un champ magnétique du soleil, et suppose la prédominance des forces électromagnétiques dans la formation des systèmes planétaires. Supposons que le soleil produise un champ magnétique généralisé d'intensité voisine de 50 gauss: la force électromagnétique exercée sur un proton dans l'orbite terrestre est de l'ordre de 60 000 fois l'attraction de gravitation due au soleil.

Alfvén suppose alors que le soleil, dans son mouvement à travers l'espace, traverse un des nuages gazeux interstellaires, constitué d'atomes neutres. Sous l'effet de la gravitation, les atomes tombent sur le soleil d'un mouvement accéléré, si bien que le nuage s'échauffe au voisinage du soleil. Alfvén pose en principe que lorsque l'énergie cinétique des atomes atteint l'énergie d'ionisation, les atomes s'ionisent par collisions. Le mélange résultant — ions positifs, électrons négatifs — est alors soumis aux forces électromagnétiques dues au champ magnétique solaire. Il se produit des courants électriques dans le nuage ionisé sous l'effet du champ magnétique tournant du soleil, un effet semblable au freinage d'une plaque métallique entre les pôles d'un aimant. Le nuage s'accélère dans sa direction de rotation, aux dépens du soleil, qui est retardé. En fait, il y a transfert de moment cinétique du soleil au nuage. On évite ainsi la difficulté du moment cinétique en admettant que la rotation initiale du soleil était plus rapide que la présente. Avec des hypothèses raisonnables, Alfvén calcula qu'en 100 000 ans environ, 10% du moment cinétique du soleil serait transféré au nuage. L'effet de freinage du soleil serait d'autant plus grand que la latitude héliographique serait plus élevée; c'est un fait bien établi que le soleil tourne moins vite près de ses pôles que près de son équateur.

Une fois un ion formé, il s'écartera le long des lignes de force magnétique, et atteindra une position d'équilibre dans le plan équatorial, puis tournera autour du soleil. En supposant que les ions sont tous ionisés à la même distance du soleil, Alfvén peut calculer la distribution des masses dans le disque équatorial, et trouve qu'elle est en accord approximatif avec la distribution réelle, à la distance occupée par les planètes principales. Il suppose qu'ions et électrons se recombinent dans leur position d'équilibre, et qu'il y a alors condensation, avec formation d'abord de «planétésimales» puis de planètes. Ainsi explique-t-il les planètes extérieures.

Comme la distance du soleil à laquelle l'ionisation se produirait est bien plus grande que la distance de Mercure, on ne peut expliquer Mercure de cette manière; les autres planètes intérieures, si elles ont été formées ainsi, devraient avoir des densités inférieures à celles des planètes extérieures, alors que leurs densités sont en fait supérieures. Ainsi la théorie ne pourrait expliquer Vénus, que si celle-ci ne se composait que d'hydrogène. C'est pourquoi on propose un mécanisme quelque peu différent pour les planètes intérieures. On suppose, ce qui est très raisonnable, que le nuage contient des particules de fumée aussi bien que des atomes. Ces particules tomberaient vers le soleil et pourraient atteindre une distance bien inférieure à celle à laquelle les atomes sont ionisés avant d'être vaporisées. Quand ceci arrive, il y a ionisation du gaz résultant, et les particules chargées sont repoussées le long des lignes de force les plus intérieures, et finalement se condensent pour former les planètes terrestres. Alfvén suppose que les planètes seraient aimantées, si bien que le même processus se serait répété à petite échelle pour la formation des satellites.

Cette théorie semble à première vue capable d'expliquer bien des détails de structure du système solaire, et de donner d'une façon grossièrement approchée, la distribution de la masse entre les planètes, en accord assez satisfaisant avec la réalité. Elle s'appuie de façon fondamentale sur l'existence d'un champ magnétique du soleil. Des observations faites il y a quelque trente ans, au

Mont Wilson avaient conduit à admettre l'existence d'un champ solaire de 50 gauss d'intensité. La validité du résultat demeurait cependant douteuse. Récemment, des observateurs à Hambourg, à Cambridge et au Mont Wilson ont admis d'un commun accord que la valeur de l'intensité du champ ne dépasse pas l'erreur probable sur sa mesure: environ 2 gauss. Le champ est peut-être variable, mais un doute plane sur les bases de la théorie d'Alfvén.

Il y a d'autres objections; ter Haar a montré qu'il n'y aurait pas d'ionisation par collision dans le nuage gazeux autour du soleil, comme l'avait postulé Alfvén, qu'il n'y aurait pas d'ionisation due aux radiations solaires à la distance des planètes extérieures, et très probablement pas non plus dans la région des planètes intérieures. De plus, il est douteux qu'il se produise une condensation en planète, même si le disque équatorial se formait de la façon admise.

Une théorie prometteuse, qui a suscité un vif intérêt, a été proposée récemment par Weizsäcker. C'est une modification de la théorie de Kant. Elle suppose que le soleil primitif était entouré d'une coque en révolution, consistant en un agrégat d'atomes et de particules de fumée, dont la masse totale était environ le dixième de celle du soleil central. Chaque particule tournait autour du soleil sur une orbite indépendante. La composition du nuage aurait été la même que celle du soleil, donc environ 99% d'hydrogène et d'hélium et environ 1% d'éléments plus lourds.

Des frictions internes au sein du nuage changeront la forme et l'orientation des orbites, jusqu'à ce qu'elles se trouvent réduites à des orbites presque circulaires, au voisinage du plan équatorial du soleil; l'enveloppe aurait eu alors la forme d'un disque de diamètre comparable au diamètre actuel du système solaire, et d'épaisseur moindre que le centième du diamètre. Le disque consiste surtout en gaz, avec une quantité bien moindre de particules de fumée, se déplaçant chacune dans une orbite gravitationnelle indépendante. Il serait en équilibre de température car, en chaque point, l'énergie reçue du soleil équilibrerait l'énergie rayonnée, si bien que les températures ne différeraient pas beaucoup des températures planétaires actuelles.

Les forces de viscosité égaliseraient les vitesses angulaires, en ralentissant les parties centrales du disque, plus rapides, et en accélérant les parties extérieures, plus lentes. Les parties intérieures, en se ralentissant, se rapprocheraient du soleil, tandis que les parties extérieures s'en écarteraient en s'accélérant. Ce processus amène un transfert progressif de moment cinétique de l'intérieur du système à l'extérieur. Il y aurait une dispersion progressive dans l'espace interstellaire de l'hydrogène et de l'hélium situé dans la partie extérieure de l'enveloppe, emportant ce moment cinétique, source de difficultés, dont il aurait fallu rendre compte si la matière était tombée sur le soleil. C'est la masse à faible moment cinétique qui tombe sur le soleil. Weizsäcker calcule que la densité initiale de l'enveloppe serait réduite à la densité actuelle dans l'espace interplanétaire en environ 200 millions d'années, ce qui explique qu'elle n'existe plus maintenant.

Weizsäcker considère comment des états quasi-permanents, ne nécessitant qu'une faible énergie pour se maintenir, pourraient s'établir dans la matière qui entoure le soleil. Un groupe de particules, avec des orbites de même période de révolution et grand axe, mais avec des excentricités différentes, si on l'observe dans un système d'axes tournant avec la même période, paraîtra décrire de petites ellipses, avec même rapport (2 : 1) du grand axe au petit axe, le petit axe étant dirigé vers le soleil. Elles formeront donc une sorte de vortex dans le système en rotation, où la circulation se fait en un sens opposé à celui de la rotation du disque gazeux. Le vortex ne peut capter d'autres particules que si leur moment cinétique demeure au-dessous d'un certain seuil, si bien qu'il doit y avoir une limite supérieure à ses dimensions. Si l'excentricité maxima est 1/3, Weizsäcker montre qu'on peut loger cinq vortex de ce type sur un petit anneau autour du soleil. Une série de petits anneaux de ce type, chacun tournant autour du soleil, conduit à un arrangement stable. Le rapport des rayons de deux anneaux consécutifs est alors constant. Les rayons des anneaux suivent donc une loi qui se rapproche étroitement de celle de Bode.

Avec cette distribution de vortex, il y a des gradients élevés de vitesse au voisinage des cercles qui séparent deux anneaux successifs. Il apparaîtra de grandes forces de viscosité, et des tourbillons secondaires, que l'on peut considérer comme des roulements à billes, se formeront autour des anneaux. La circulation dans ces tourbillons sera en sens opposé à celle dans les vortex, et par suite, dans le même sens que celle du disque. On trouve qu'il y a des conditions plus favorables à la condensation dans les roulements à billes que dans les tourbillons. Ter Haar a étudié en détail ce processus de condensation. Elle ne peut se produire que si la tension de vapeur des grandes

particules est inférieure à la pression du gaz, si bien qu'il se condensera plus d'atomes sur les particules qu'il ne s'en évaporera. La nature des particules condensées dépend principalement de la température; on trouve que des composés comme l'eau, l'ammoniac et le gaz carbonique peuvent se condenser à l'extérieur, mais qu'à l'intérieur, seuls le peuvent les métaux et composés minéraux, plus lourds et moins abondants. Ainsi, dans la première étape de la condensation, les noyaux des anneaux intérieurs sont plus denses que ceux des anneaux extérieurs. La seconde étape est une croissance par accrétion de particules rencontrées au cours de collisions, qui adhèrent aux noyaux. Ceci se produit plus vite dans les anneaux extérieurs que dans les anneaux intérieurs. La dernière étape est une croissance par capture gravitationnelle, surtout des éléments légers, qui, comme le montre ter Haar, n'apparaît presque que sur les corps extérieurs; ces captures gravitationnelles, surtout des éléments légers, accentueront encore la différence de densité moyenne entre les condensations intérieures et extérieures.

Weizsäcker calcule que la croissance des condensations, pratiquement jusqu'à la limite où il n'y aurait plus de particules, prendrait environ cent millions d'années, durée comparable à la période de dissipation de l'enveloppe gazeuse. Les condensations dans les roulements à billes sont les protoplanètes. On ne voit pas bien, cependant, pourquoi il n'y a qu'une planète sur chaque anneau. Weizsäcker suppose que les condensations le long d'un anneau se rassembleraient «d'une façon difficile à saisir»; il y aurait probablement interaction avec la matière dans les secteurs qui séparent les vortex, et une tendance à se rapprocher des condensations adjacentes.

Ter Haar trouve que le processus de condensation conduit à une distribution des masses qui s'accorde aussi bien avec la distribution actuelle dans le système solaire qu'on peut s'y attendre en partant de considérations aussi générales. Les seules contradictions sérieuses sont que la masse de Mars est bien plus petite que ce que la théorie prévoit pour une planète située à cette distance du soleil, et qu'il doit y avoir une planète entre Mars et Jupiter; les astéroïdes, toutefois, sont peut-être des fragments d'une telle planète, qui se serait brisée. La lenteur de rotation des planètes internes serait attribuée avec raison à des frictions de marée, causées par des vagues de marées que le soleil y soulèverait.

On peut attribuer la formation des satellites dits: «réguliers» à la présence analogue de condensations au sein des atmosphères planétaires; les distances relatives des satellites suivent des lois analogues à celle de Bode. Les satellites «irréguliers», comme la lune, les deux satellites de Mars, les satellites extérieurs des plus grosses planètes seraient des produits de condensation, capturés par les planètes à un stade ultérieur. La capture gravitationnelle n'aurait pas joué de rôle significatif dans la formation des satellites réguliers, à cause de leur faible masse. Ceci rend compte du fait d'observation que leurs densités sont plus élevées que celles de leurs planètes primaires, mais plus basses que celles des planètes intérieures.

La théorie de Weizsäcker explique donc de façon plausible les caractéristiques principales du système solaire: la direction commune de révolution et de rotation des planètes et des satellites; le plan essentiellement commun de leur révolution; les faibles inclinaisons des équateurs sur ce plan; les rotations plus lentes et les densités moyennes plus élevées des planètes intérieures par rapport à celles des planètes extérieures; et, en gros, la distribution des masses et la loi de Bode. Elle donne aussi une indication valable pour expliquer la perte de moment cinétique en excès, bien qu'elle ne rende pas compte complètement de la rotation actuelle très faible du soleil. De toutes les théories proposées jusqu'à présent, aucune n'a réussi aussi bien. De plus, le traitement mathématique est possible, et on peut faire une étude quantitative de nombreux détails. Les théories cataclysmiques ne permettent pas un traitement mathématique rigoureux, et peuvent donner, tout au plus, des résultats qualitatifs.

En cherchant l'origine du système solaire, nous avons le désavantage d'ignorer si les systèmes planétaires sont exceptionnels. Si le système solaire a une origine cataclysmique, ces systèmes planétaires doivent être extrêmement rares; par contre, si les idées de Weizsäcker sont exactes, ils doivent être nombreux, surtout dans la Voie Lactée, où les nuages interstellaires sont abondants. La principale limitation est que la température de l'astre central ne doit pas être trop élevée, ce qui empêcherait les condensations; on ne doit pas s'attendre à ce qu'aucune des étoiles les plus chaudes ait un système planétaire. Il n'est pas au-delà des possibilités humaines d'obtenir des preuves d'observation sur la fréquence des systèmes planétaires. Ceci nous donnerait au moins une indication sur l'origine, cataclysmique ou non, de ces systèmes.

La tradition islamique en astronomie

H. J. J. WINTER

Bref historique des travaux des premiers astronomes musulmans: construction d'observatoires en Espagne et en Orient et compilation de tables astronomiques. Description de l'astrolabe et énumération d'autres instruments. Des observations plus exactes sont obtenues au moyen d'instruments de plus grandes dimensions. Influence des astronomes islamiques en Europe, dans l'Inde et en Chine.

La tour Giralda tout près de la Cathédrale de Séville fut le premier observatoire astronomique en Europe. Il représentait cependant, par sa technique d'observation, une tradition islamique dont l'origine remonte à quelque quatre cents ans plus tôt dans les travaux des savants qui travaillaient sous le patronage des premiers Caliphes Abbassides, notamment Al-Mansur et Harun al-Rashid. Parmi ces savants se trouvaient Ibrahim al-Fazari qui le premier construisit des astrolabes, son fils Muhammad et deux hommes qui furent chargés de l'étude du site de Baghdad avant sa fondation en 762.

Cette glorieuse tradition, déjà ancienne, ne se limita pas à Séville: traversant l'Espagne elle influença l'Europe et par son expansion vers l'Est eut une action profonde sur l'astronomie Asiatique jusqu'au début du XVIIIe siècle. Nous trouvons sa trace dans les observatoires Mongols de Maragha et Khanbaliq, dans l'observatoire de Samarkand, édifié par ordre du prince Turc Mirza Ulugh Beg vers 1420, et enfin dans les observatoires de Delhi, Bénarès, Jaipur et Ujjain fondés en un temps où en Europe l'usage du télescope faisait tomber en désuétude ces instruments souvent remarquablement travaillés dont les musulmans tiraient tant de gloire.

Le principal instrument de l'astronomie du moyen âge était l'astrolabe plan [9]. L'astrolabe plan ou *astrolabium planisphaerium* se composait d'un disque circulaire ou *mater* à bord redressé avec en son centre un axe ou pivot, sur lequel tournaient certains autres accessoires. Ces accessoires déterminaient les usages des deux faces de l'astrolabe qui étaient essentiellement différents bien que complémentaires. Ainsi sur le revers de l'appareil tournait sur une échelle angulaire l'*alidade* ou viseur qui, l'instrument étant suspendu verticalement, permettait à l'observateur de lire les élévations angulaires ou altitudes des corps célestes. Le rôle du revers de l'appareil était donc d'observation: il fut à l'origine de l'astrolabe marin utilisé par Colomb et, plus tard, du quadrant d'Hadley. D'autre part le rôle de la face frontale de l'appareil était du domaine théorique; c'était en fait une remarquable machine à calculer. Sur la surface intérieure du bord gradué du disque ou *mater* étaient souvent marquées les latitudes et longitudes des centres astronomiques importants. Une série de disques de rechange fournissant des renseignements spéciaux pouvaient se fixer sur l'axe central et tourner dans la *mater*, facilitant un grand nombre de calculs. Sur ces disques supplémentaires, ordinairement de cuivre fin, étaient inscrits les almucantars, les cercles d'azimuts, les cercles horaires etc. pour différentes latitudes. Un disque particulier, avec un dessin en filigrane, appelé «araignée» ou *rete* (en arabe *ankabut*) indiquait l'écliptique, les signes du zodiaque, et, au moyen de branches en pointe, la position de certaines étoiles fixes.

Cet *ankabut* nous amène immédiatement au principe de la face frontale de l'astrolabe, qui exige maintenant quelques lignes d'explication. Le principe est celui de la projection stéréographique qui, d'après Neugebauer, pouvait être connu dès l'époque d'Hipparque (150 av. J.C.). Imaginez une sphère dont un plan diamétral est traversé perpendiculairement par la direction Nord-Sud. Sur la surface de l'hémisphère Nord sont dessinés différents cercles. Si l'on joint par des droites les points de la circonférence de l'un des cercles au pôle Sud de la sphère, on forme un cône imaginaire dont la section par le plan diamétral est un cercle de ce plan. Ce cercle et les cercles analogues sont des projections stéréographiques sur le plan diamétral. Si maintenant nous remplaçons cette sphère par la sphère céleste et si, admettant la théorie géocentrique et les orbites planétaires circulaires, nous faisons des projections stéréographiques sur l'équateur, les cercles concentriques ainsi obtenus peuvent être

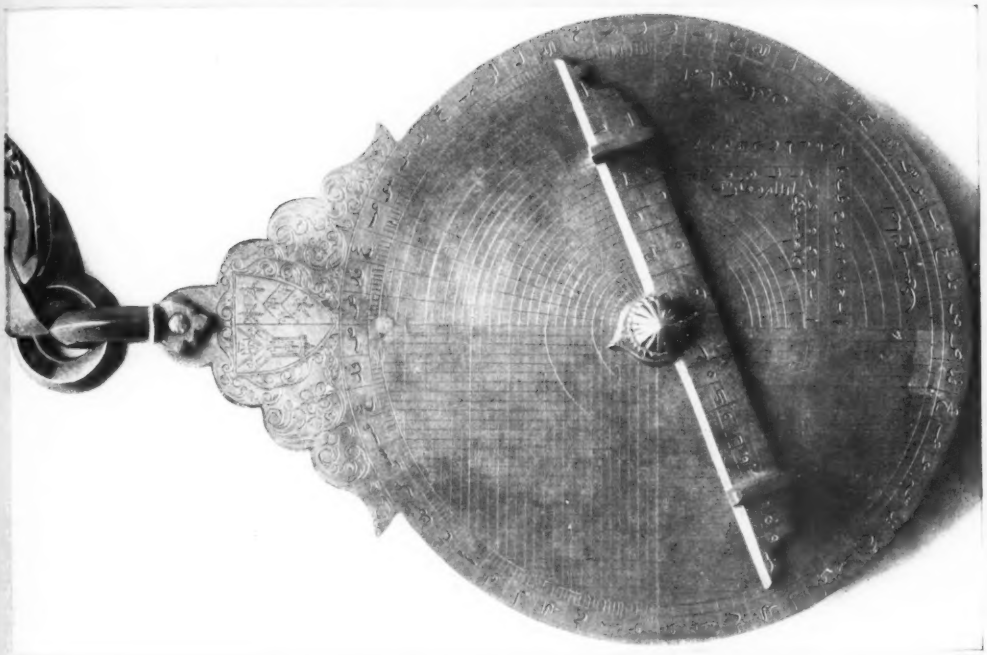


FIGURE I — *Astrolabe présenté à la bibliothèque Bodléienne à Oxford, par William Laud, Archevêque de Canterbury. Il date probablement du début du* XVIIe *siècle.* (*Echelle* $\frac{1}{2}$)

FIGURE 2 – *Astrolabe Maure, finement travaillé, du* XIIIe *siècle.* (*Echelle* ½)

(*Les figures 1 et 2 sont reproduites d'après* «Les Astrolabes du monde» *de Gunther.*)

représentés à une échelle très réduite sur la face frontale de l'astrolabe. En pratique le bord de la *mater*, pour une seule latitude, représentait la projection de l'orbite du soleil au solstice d'hiver, et les autres cercles, comme la projection du cercle du solstice d'été, tombaient à l'intérieur du premier. Dans ce cas très simple d'une latitude donnée, la *mater* devenait une *safiha* portant la projection stéréographique appropriée du ciel. Le bord, gradué en degrés, mesurait le temps équinoxial (ascension droite). L'*ankabut* représentait l'écliptique qui est un cercle tangent aux cercles des solstices, et, en tournant autour de l'axe central de l'astrolabe, il figurait la trajectoire des étoiles fixes autour du pôle Nord céleste, de façon qu'une aiguille sur son bord qui était en contact avec l'échelle du bord de la *mater* donnait, au point de contact, la rotation de l'écliptique en ascension droite. On voit clairement sur la figure 1 la position décentrée de l'*ankabut*. A titre d'exemple des usages différents de l'astrolabe nous pouvons citer: la détermination approximative de la longitude d'une planète sur l'écliptique; à l'aide de l'alidade du revers de l'astrolabe, on trouvait expérimentalement les altitudes de la planète et d'une étoile fixe et ce renseignement était ensuite reporté sur la face frontale de l'instrument, l'*ankabut* étant réglé sur l'*almucantar* convenable de l'étoile fixe. On lisait la longitude de la planète d'après le degré de l'écliptique se trouvant sur l'*almucantar* correspondant à l'altitude mesurée de la planète.

Parmi les autres instruments connus des musulmans, se trouvaient l'astrolabe sphérique (*astrolabio redondo*) qui comprenait un globe céleste entouré d'une «araignée» et facilitait les calculs de trigonométrie sphérique; l'astrolabe linéaire, sur lequel la coupole céleste était projetée suivant une ligne droite; différents «armillae», adaptation de la sphère armillaire des anciens, où étaient représentés les pôles célestes, ainsi que des «anneaux» pour l'écliptique et le zodiaque, et deux colures ou grands cercles divisant l'équinoxe et l'écliptique en quatre parties égales aux points équinoxiaux et solsticiaux; des instruments munis de dispositifs d'observation consistant essentiellement en arcs de cercle comme le quadrant et le sextant, pour déterminer les altitudes des corps célestes; et des

formes perfectionnées du cadran solaire pour la mesure du temps.

Une étude des ombres portées par le simple cadran solaire, ou «gnomon», lorsqu'il se dresse verticalement sur une surface horizontale, ou lorsqu'il est fixé horizontalement sur un mur vertical, permit à des savants comme Al-Battani (Albategni) (m. 929) et Abu-l Wafa (m. 998) d'établir les bases de la trigonométrie moderne; avec Al-Hasan Al-Marrakushi (m. 1262) cette étude donna au Maroc un système perfectionné de gnomonique.

Il est particulièrement intéressant d'examiner dans quel sens les Musulmans ont développé leurs instruments. Alors que dans l'Ouest on atteignait la précision à l'aide d'artifices tels que le vernier ou le micromètre, l'Est mettait l'accent sur la taille et la rigidité; Al-Khujandi (vers 1000) employait un sextant de 17,6 m de rayon et d'après John Greaves [2] le grand quadrant de Samarkand était à peu près de la même hauteur que Sainte Sophie de Constantinople, c'est-à-dire 54,8 m; enfin Jai Singh, selon la tradition musulmane, édifia dans l'Inde d'énormes instruments de maçonnerie.

Dans la première moitié du IXe siècle l'astronome et médecin juif Sahl (Rabban) Al-Tabari traduisit en arabe l'«Almageste» de Ptolémée, et les premières observations arabes faites sous le caliphat des Abbassides concernaient surtout la vérification des renseignements ainsi obtenus, par exemple la valeur de l'obliquité de l'écliptique. Habash al-Hasib qui travaillait à Baghdad mesurait le temps d'après l'altitude du soleil et compléta certaines tables astronomiques.

Al-Battani (Albategni), le plus grand des astronomes de Baghdad, vérifia les constatations de Ptolémée et calcula de manière plus exacte la précession des équinoxes et l'obliquité de l'écliptique. Il montra que l'apogée du Soleil avait changé de position depuis l'époque de Ptolémée et composa des tables plus exactes pour le Soleil et la Lune.

Après les nombreux astronomes du temps des Abbassides, vinrent ceux qui travaillèrent sous le patronage des sultans Buwayhiddes, des califes Umayades de Cordoue et des Fatimides d'Egypte. Ibn al-A'lam composa des tables astronomiques exactes et Ibn Yunus compléta en 1007, à l'observatoire du Caire, les tables Hakémites. Ces recherches furent bientôt suivies par les tables de Tolède, éditées par Al-Zarqali, par le calendrier réformé de Umar Khayyam à Nishapur, dont l'organisation (8 années bissextiles pour chaque période de 33 ans) est plus exacte que celle adoptée par la réforme grégorienne du calendrier en 1582, et les tables d'Al-Khazini de Merv. De tels faits ne laissent aucun doute sur l'influence étendue de l'astronomie musulmane.

En 1258, lors du sac de Baghdad, l'astronomie musulmane eut son centre à Maragha dans l'Azerbaïdjan où fut établi un grand observatoire sous la direction de Nasir al-Din al-Tusi. Cet observatoire eut une grande importance comme centre culturel, malgré sa courte existence. Il attira des astronomes compétents de points variés et éloignés de l'Asie, et était équipé d'appareils particulièrement soignés, qui durant plus de trois siècles ne furent surpassés par aucun autre en Europe. Des savants Chinois comme Fu Meng-chi passaient pour avoir été envoyés là pour étudier. Les ouvrages grecs les plus importants sur l'astronomie et la géométrie furent traduits à l'observatoire de Maragha et certains d'entre eux n'ont subsisté que dans leur version arabe. Ces traductions eurent une grande influence sur le développement de l'astronomie arabe.

La collaboration sino-persane dans les études astronomiques est un caractère particulier de la dynastie Yuan (Mongole) pendant la dernière partie du XIIIe siècle, alors que les routes de caravanes de l'Asie Centrale étaient sous contrôle mongol. Les tables astronomiques commencées par Al-Tusi après la chute de Baghdad, furent complétées vers 1272; il n'est pas douteux que les premières étapes de cette compilation inspirèrent à Kublai-Khan l'idée d'ériger un nouvel observatoire dans la nouvelle capitale de Khanbaliq, en Chine. Des noms comme Isa le Mongol, Jamal al-Din et Kuo Shou-Ching, nous remémorent cet esprit de collaboration. Jamal al-Din venant de Maragha arriva à Khanbaliq en 1267, apportant avec lui des dessins ou peut-être des modèles, de sept instruments arabes et Hartner [4] pense qu'une sphère armillaire datée de 1279 fut faite par Kuo Shou-Ching d'après un plan fourni par Jamal al-Din. C'est encore Kuo Shou-Ching, probablement, qui fit connaître aux mathématiciens chinois la trigonométrie sphérique des Arabes, sur laquelle Al-Tusi avait écrit un traité monumental. Il ne semble pas toutefois, que la tradition islamique ait jamais eu une forte influence en Chine, les instruments mongols subsistants ayant leur propre mesure du cercle en 365¼ divisions avec 100 subdivisions, chacune divisée encore par 100. En fait, la Chine reçut de nouveau au XVIIe siècle, des jésuites, précisément le même enseignement qu'elle avait eu tendance à

négliger au XIIIe, un enseignement qui, issu des mêmes origines islamiques, avait progressé vers l'Ouest et atteint les savants Européens par le monumental «*Libros del saber de astronomía*» (1276) d'Alphonse X de Léon et de Castille, et les tables alphonsines établies sous sa direction par les savants hispano-juifs Judah ben Moses et Isaac ibn Sid. Cependant ce n'était pas seulement en Espagne que l'Astronomie islamique s'épanouissait. Il y avait à Samarkand au temps de Timur-Lang une école qui brilla d'une remarquable activité sous le patronage éclairé de son petit-fils Mirza Ulugh Beg (né en 1394) qui érigea là un observatoire. De 1420, jusqu'à 1449, on y construisit d'excellents appareils de grande taille en maçonnerie; ceux-ci fournirent des observations qui furent utilisées pour l'établissement des tables de Samarkand intitulées Zij Ulugh Beg, lesquelles parurent en 1437. Le catalogue des étoiles de Ulugh Beg était pour l'époque d'une grande exactitude; il représente, depuis Hipparque, le premier catalogue vraiment nouveau. Les tables de l'Ilkhan et les tables de Samarkand jouirent d'une vogue extraordinaire; John Greaves, titulaire de la chaire Savile d'astronomie à Oxford au temps de Charles Ier, en reproduisit en latin des fragments qui eurent sur l'astronomie occidentale l'influence qu'ils méritaient [1]. Les influences turques étaient puissantes à Samarkand; Ulugh Beg et le second directeur de son observatoire, Qadi Zade al-Rumi, étaient des Turcs, et l'astronome Al-Qushchi travaillait à la fois à Samarkand et à Constantinople. Des fouilles faites en 1909 autour du grand quadrant à Samarkand mirent à jour des barres métalliques et une échelle de marbre graduée.

Jai Singh II de Jaipur et son fils Madhu Singh amenèrent à son terme cette longue et illustre tradition s'étendant sur presque un millénaire de l'histoire de l'Islam. Bien qu'étant Hindou comme son principal assistant, Jai Singh peut être considéré comme le successeur des astronomes de la période mogole en ce que, bien qu'il connût les astronomies européenne et hindoue, il suivit étroitement les méthodes islamiques, s'occupa de perfectionner les tables astronomiques islamiques, et copia les instruments de Ulugh Beg. Il employa Jagannath parce que celui-ci savait l'arabe et donna une traduction sanscrite de la version arabe de l'«Almageste» de Ptolémée. Sans ignorer les recherches européennes (il envoya le Père Figueredo au Portugal en 1728, fut visité par le Père Boudier en 1734, et d'autre part prit connaissance de l'œuvre de Flamsteed (1646–1720), La Hire (1640–1718) et de leurs prédécesseurs), Jai Singh suivit, surtout pour la construction de ses observatoires à Delhi (1724) et en certains autres centres, et pour l'établissement de ses nouvelles tables, la ligne de recherche islamique, illustrée par la technique d'astronomes tels que Al-Tusi et Ulugh Beg.

BIBLIOGRAPHIE

[1] GREAVES, JOHN. «Ulugh Beigh: Longitudines et latitudines . . . Stellarum». Oxford. 1648.

[2] *Idem.* «Astronomia quaedam ex traditione Shah Cholgii Persae». Londres. 1650.

[3] GUNTHER, R. T. G. «Early Science in Oxford» (vol. 5). Oxford University Press, Oxford. 1929.

[4] HARTNER, W. *Isis*, **41**, 184, 1950.

[5] KAYE, G. R. «Archaeological Survey of India» (vol. XL). Imprimerie du Gouvernement, Calcutta. 1918.

[6] MICHEL, H. M. «Traité de l'astrolabe». Gauthier-Villars, Paris. 1947.

[7] MINORSKY, V. «Encyclopedia of Islam» (vol. 3). Brill, Leyde; Luzac, Londres. 1930.

[8] NEUGEBAUER, O. *Isis*, **40**, 240, 1949.

[9] POPE, A. U. «Survey of Persian Art» (vol. 3). Oxford University Press, Oxford. 1939.

[10] SARTON, G. «Introduction to the History of Science» (vol. 1). Williams and Wilkins, Baltimore. 1927.

[11] SCHOY, C. «Über den Gnomonschatten und die Schattentafel». Hanovre. 1923.

[12] SUTER, H. «Die Mathematiker und Astronomen der Araber und ihre Werke». Teubner, Leipzig. 1900, 1902.

Quelques baleines de petite taille

H. BOSCHMA

Description, illustrée de reproductions en couleurs de tableaux peints par Koekkoek, de quelques exemplaires échoués sur divers points du globe. C'est le Musée d'Histoire Naturelle de Leyde qui entreprit de recueillir des données précises quant aux dimensions et à l'apparence des baleines en question.

Le cachalot nain (*Kogia breviceps*) a toute l'apparence d'un dauphin dont l'ouverture buccale se trouverait à l'arrière de la pointe du museau. D'ordinaire la mâchoire inférieure seule est garnie de dents. L'espèce fréquente habituellement les parages de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, mais on la rencontre aussi dans les eaux sud-africaines, indiennes, cinghalaises, indochinoises et indonésiennes, et même près du Japon. On en a trouvé deux exemplaires dans le Pacifique oriental (côtes mexicaines et péruviennes). Dans l'Atlantique Nord il y a eu d'après Allen [1] vingt sujets échoués sur la côte américaine, depuis la Floride jusqu'à la Nouvelle-Ecosse. Des quatre exemplaires échoués sur la côte européenne, on trouva le premier d'après Delage [2], près de Roscoff en Bretagne, en 1905. On en porta la tête au Bureau de la Marine et le corps fut abandonné aux chiens. Ce qu'ils en laissèrent ainsi que la tête firent l'objet d'études minutieuses par Le Danois [3, 4]. Celui-ci, dans sa dernière étude en date de 1910 parle d'un cachalot nain qui s'échoua sur l'Ile d'Oléron et dont le musée de La Rochelle ne put recueillir que la peau qu'on naturalisa par la suite. On trouva le troisième exemplaire européen (figure 1) sur la côte néerlandaise à Noordwijk aan Zee en 1925. Van Oort [5] note que le corps en était assez bien conservé bien qu'ayant subi quelques mutilations peu graves. Il s'agissait d'une femelle de 2,95 m de long: dos bleuté tournant parfois au gris ardoise et prenant graduellement une nuance plus claire vers les côtés; face ventrale d'un blanc d'ivoire depuis la pointe de la mâchoire inférieure jusqu'à l'arrière de l'ouverture anale; le dessus des nageoires bleu foncé et le dessous blanchâtre; le dessous de la queue et des nageoires caudales d'un bleu plus clair que le reste de la queue. Dans le blanc du dessous il y avait quelques taches brunâtres qui indiquaient peut-être un commencement de décomposition de la peau. Le sujet dont il est question ici est le seul qui ait présenté une teinte bleuâtre des parties plus foncées, qui, chez les autres cachalots nains échoués, sont décrites comme étant noir de jais ou simplement noires, exceptionnellement gris ardoise. Les documents sur ce sujet donnent la couleur du ventre comme étant blanche, blanc sale tirant sur le jaune, ou rosâtre.

Le quatrième exemplaire, selon les indications que le Docteur F. C. Fraser a eu la bonté de nous fournir, trouvé sur la côte du Portugal, est conservé naturalisé à l'Institut Maritime de Dafundo près de Lisbonne.

Comme l'ont déjà remarqué Allen [1] et Hale [6] la forme de la nageoire dorsale varie énormément chez les cachalots nains: peu apparente dans une illustration de l'ouvrage de Norman et Fraser [7] elle est longue et pointue dans celui de Fraser et Parker [8]. L'exemplaire que représente la figure 1 avait une nageoire dorsale courte et arrondie.

Dans toutes les descriptions de cachalots nains où l'évent est mentionné, il est dit que cet organe est placé de biais; pourtant chez le sujet dont il est ici question cette asymétrie n'est guère apparente.

La baleine «Scamperdown» néo-zélandaise (*Mesoplodon grayi*) fut remarquée pour la première fois aux îles Chatham où une bande de 28 échoua en 1874. Julius von Haast, directeur du Musée Canterbury fondé depuis peu à Christchurch, en reçut trois têtes: c'était selon lui une espèce inédite dont le caractère particulier était une rangée de dents minuscules sortant de la gencive de chaque côté de la mâchoire supérieure et dont le nombre variait de 17 à 19, chaque rangée commençant juste derrière l'endroit où la mâchoire inférieure porte une assez grosse dent dans chaque procès osseux. Peu de temps après, von Haast [10] reçut quatre exemplaires provenant de la côte néo-zélandaise dont chacun possédait des rangées bien distinctes de dents minuscules. Les musées reçurent ultérieurement plusieurs

spécimens, et il est à remarquer qu'à chaque fois qu'on eut l'occasion d'examiner un exemplaire de la baleine «Scamperdown» — appellation qui devint courante dès que l'espèce eut été décrite— on constata que sa mâchoire supérieure portait de chaque côté une rangée de dents minuscules.

Jusqu'en 1950 on avait constaté la présence de *Mesoplodon grayi* dans les eaux des pays suivants: Nouvelle-Zélande, Nouvelle-Galles du Sud, Victoria, Australie méridionale, Sud-Afrique et Patagonie.

FitzSimons [11] range la baleine de Sowerby (*Mesoplodon bidens*) parmi les mammifères sud-africains, tenant la bête échouée près de Port Elizabeth en 1910 pour être le premier exemplaire qui ait signalé la présence de l'espèce dans les mers du Sud. L'ouvrage cité contient une photographie du sujet et une autre du profil de son crâne. FitzSimons envoya la même année ces photographies au British Museum où Lydekker [12] identifia l'exemplaire comme étant un *Mesoplodon grayi*, en faisant remarquer que les dents de la mâchoire inférieure ne ressemblaient pas à celles de *Mesoplodon bidens*.

La baleine de Sowerby et la «Scamperdown» néo-zélandaise ont un caractère commun qui prête à la confusion: les dents de la mâchoire inférieure sont situées à la même place, et dans la mesure où elles dépassent la ligne de la mâchoire, elles peuvent présenter la même apparence. Au musée de Leyde se trouve le squelette d'une baleine «à bec» de 4,60 m échouée près de Loosduinen (Hollande) en 1927. D'après la forme et la position des dents de la mâchoire inférieure elle fut identifiée provisoirement comme baleine de Sowerby, mais en définitive on la reconnut comme étant un exemplaire de la «Scamperdown» néo-zélandaise: le crâne possède les traits distinctifs de cette dernière espèce, et, en outre, de chaque côté de la mâchoire supérieure, une rangée de 22 dents minuscules noyées pour la plupart dans la gencive, les pointes seules dépassant [13]. Heureusement que la bête échoua absolument intacte au cœur de l'hiver de sorte qu'on put en faire une peinture exacte en couleurs. Celle-ci, reproduite ici (figure 2), est la seule représentation qui existe d'un exemplaire complet. La couleur du dos varie du noir au gris ardoise, tournant au gris brun sur les côtés. La face ventrale est gris clair teinté de brun, traversée d'une bande médiane plus foncée qui, se marbrant à la partie antérieure, finit par disparaître à la hauteur des nageoires latérales. Celles-ci, ainsi que les nageoires caudales, vont, sur leurs deux faces, du gris très foncé au noir, les bords des nageoires latérales étant plus clairs. La mâchoire inférieure et la gorge sont gris très clair, blanchâtres par endroits. Sur les bords de la mâchoire supérieure et autour du nombril et des ouvertures génitale et anale, il y a des lignes blanchâtres. Les côtés portent une seule raie blanchâtre et plusieurs petites taches blanches que l'on devrait considérer comme des cicatrices. Les sujets néo-zélandais, d'après von Haast [10] ont la face dorsale noire, tournant, près de la queue, au gris ardoise foncé. La face ventrale est d'un brun rougeâtre qui de chaque côté de la queue prend une teinte noirâtre. La bête échouée près de Port Elizabeth était entièrement d'un noir de jais [12]. Cabrera et Yepes [14] parlent aussi de sujets tout noirs.

Le fait est que nous ne savons pas grand'chose de la répartition des baleines «à bec», notamment des espèces du genre *Mesoplodon*. La plus connue, *Mesoplodon bidens*, habite exclusivement l'Atlantique Nord; on l'a trouvée sur les côtes européennes et nord-américaines. La baleine de True (*Mesoplodon mirus*) reconnue tout d'abord sur la côte atlantique de l'Amérique du Nord a été rencontrée trois fois dans les eaux britanniques depuis 1917 [15]. *M. europaeus*, autre espèce rare, a été décrit d'après un exemplaire trouvé flottant à l'entrée de la Manche. On en rencontra par la suite sur la côte nord-américaine. On ne connaissait *M. bowdoini* que par deux squelettes trouvés sur la côte néo-zélandaise [7]: puis Hubbs [16] décrivit un exemplaire échoué en Californie méridionale. Encore un exemple d'une espèce des mers australes qui paraît inopinément dans un endroit très éloigné de son habitat usuel: *M. densirostris*, dont sept exemplaires sont connus provenants de localités très éloignées les unes des autres: les Seychelles, l'île Howe, le Sud-Afrique, Massachusets, New Jersey, Madère. Les quelques autres espèces du genre semblent assez peu répandues.

Chez la baleine *Hyperoodon rostratus* le museau se distingue mieux du reste de la tête que chez les autres baleines «à bec», de sorte que leur front, surtout chez les vieux mâles, est très bombé. La taille maximum des mâles est de 9 m et celle des femelles un peu plus de 7 m. Tous ont généralement une paire de dents assez grosses plantées à la pointe de la mâchoire inférieure, et il arrive aussi qu'ils aient des dents rudimentaires dans les deux mâchoires.

Presque tous les hyperoodons échoués sur les divers points de la côte européenne jusque vers la fin du XIXe siècle sont décrits comme étant d'un

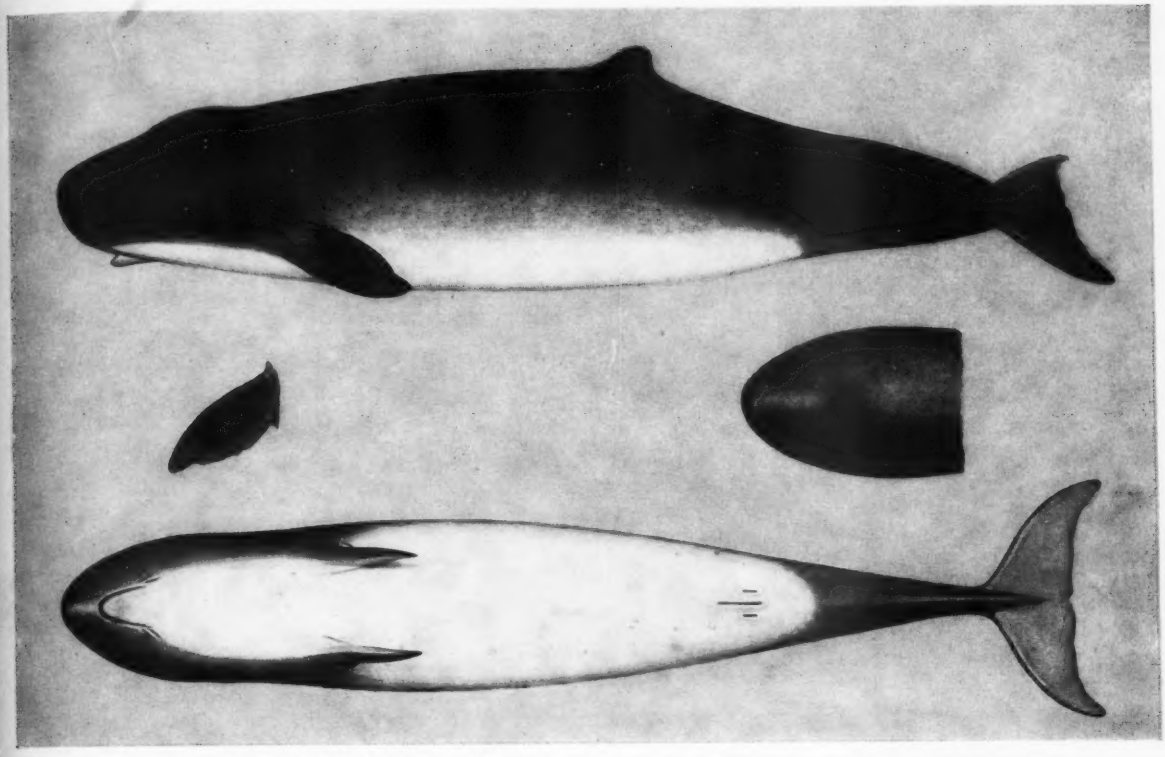


FIGURE 1 – *Cachalot nain* (Kogia breviceps), *femelle adulte, longueur totale:* 2,95 *m. Noordwijk aan Zee,* 1925.

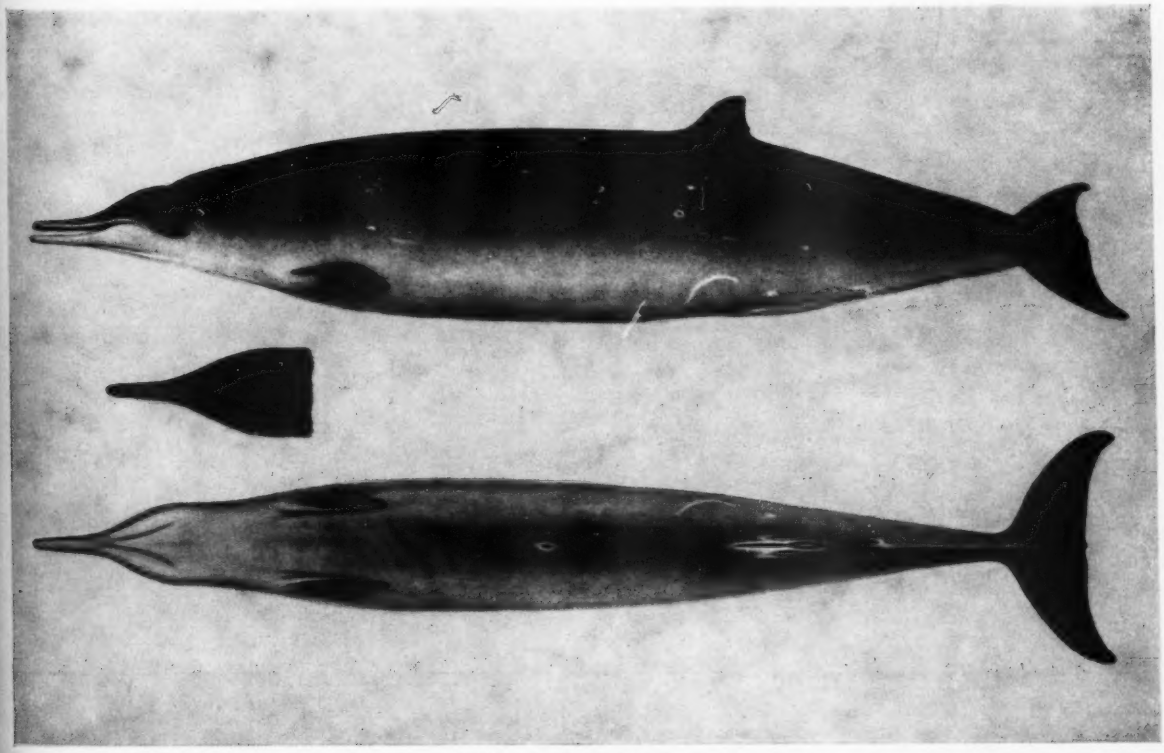


FIGURE 2 – *Baleine «Scamperdown» de la Nouvelle-Zélande* (Mesoplodon grayi), *femelle, longueur totale:* 4,60 *m. Loosduinen,* 1927.

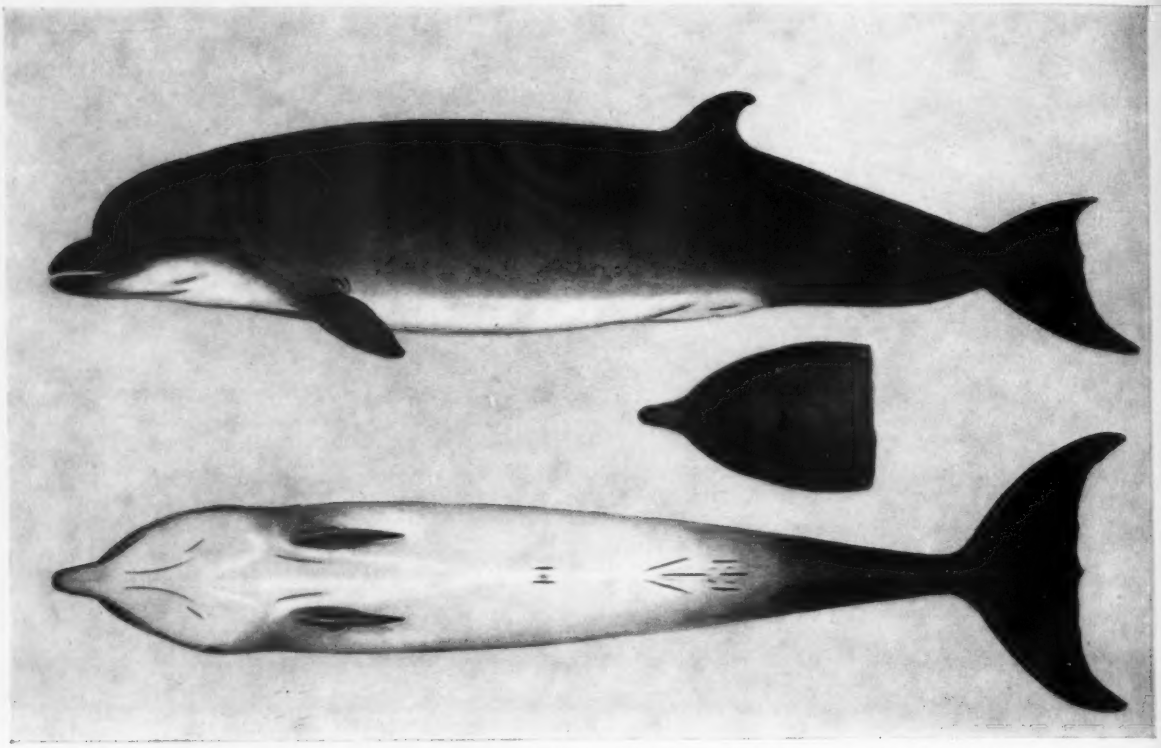


FIGURE 3 – *Hyperoodon* (Hyperoodon rostratus), *jeune mâle, longueur totale:* 4,20 *m. Au large de Texel,* 1927.

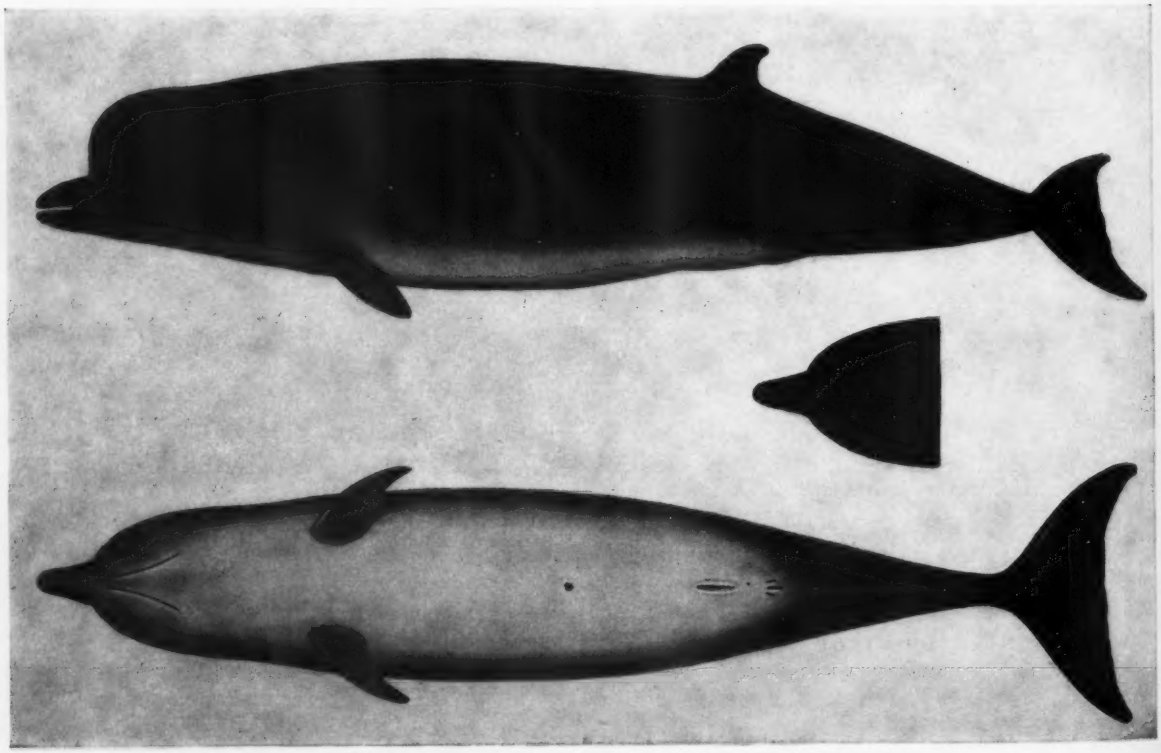


FIGURE 4 – H. rostratus, *mâle, longueur totale:* 5,29 *m. Près de Waarde,* 1931.

gris noirâtre, avec la face ventrale de couleur plus claire. Actuellement l'avis général est que la couleur change avec l'âge. David Gray [17], commandant du vapeur baleinier *Eclipse* qui a capturé un grand nombre d'hyperoodons, les décrit ainsi: «Leur couleur va du noir chez les jeunes sujets au brun clair chez les plus âgés. Les plus vieux deviennent presque jaunes, avec un «bec» et un front tout à fait blancs et une bande noire autour du cou. Tous ont la face ventrale d'un blanc grisâtre». Ces détails sont corroborés en substance par Axel Ohlin [18]. Par la suite cependant on trouva des exemplaires qui ne répondaient pas aux constatations qui précèdent. Harmer [19] à propos d'un jeune sujet chez qui le blanc dominait et d'un autre plus âgé presque entièrement noir, en conclut que «le changement de couleur ne suit pas toujours l'évolution régulière que lui attribuent les observateurs précédents». Il convient de faire ici mention de deux jeunes hyperoodons trouvés sur la côte hollandaise. L'un, un jeune mâle de 4,05 m échoué près d'Egmond, avait aux côtés selon Junge [20] une zone de couleur sépia bien marquée entre le noir du dos et le blanc jaunâtre du ventre. Junge parle aussi du jeune mâle (figure 3) long de 4,20 m capturé au large de Texel en 1927. Chez celui-ci le dos tout entier allait du gris foncé au noisette, lequel tournait au blanc jaunâtre sur la face ventrale: ici la partie claire s'étendait depuis la tête jusqu'à l'ouverture anale, puis s'étrécissait sur la queue en une bande médiane brun clair. D'autre part un jeune mâle beaucoup plus gros, échoué près de Waarde en 1931 et mesurant 5,29 m (figure 4), présente en tous points la coloration considérée comme typique des jeunes sujets: le dos et la majeure partie des flancs allant du gris ardoise foncé au noir, et la même couleur sur les nageoires pectorales et caudales. La face ventrale, de la gorge à la région anale est grise.

Les deux hyperoodons des figures 3 et 4 offrent quelques autres particularités intéressantes. Bien qu'étant tous deux relativement jeunes, ils présentent déjà des différences bien marquées dans la forme de la tête. Chez le sujet brunâtre plus jeune le front est beaucoup moins bombé que chez le sujet noirâtre plus âgé: le renflement caractéristique de la tête de l'hyperoodon mâle commence donc relativement tôt. En outre, chacun a sous la gorge les deux rainures convergentes qui distinguent tous les hyperoodons. On a remarqué que les embryons possèdent souvent quatre de ces rainures, et il vaut la peine de noter que le sujet brunâtre, le plus jeune, porte à côté des deux rainures apparentes deux autres semblables mais plus courtes, les vestiges sans doute de rainures primitivement plus développées.

En somme les observations qu'on a pu faire jusqu'ici ne renseignent pas d'une manière précise sur la coloration, ni du reste sur beaucoup d'autres caractères, des cétacés en question.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ALLEN, G. M. *Field Mus. Publ.* (*Zool. Ser.*), **27**, 17, 1941.

[2] DELAGE, Y. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **142**, 258, 1906.

[3] LE DANOIS, E. *Arch. Zool. exp. gén.*, **6**, 149, 1910.

[4] *Idem. Ibid.*, **6**, 465, 1911.

[5] VAN OORT, E. D. *Zoöl. Meded.*, **9**, 211, 1926.

[6] HALE, H. M. *Rec. S. Aust. Mus.*, **8**, 531, 1947.

[7] NORMAN, J. R., et FRASER, F. C. «Giant Fishes, Whales and Dolphins». 2e édition, Putnam, Londres, 1948.

[8] FRASER, F. C., et PARKER, H. W. «Guide for the Identification and Reporting of stranded Whales, Dolphins, Porpoises and Turtles on the British Coasts». British Museum, Londres, 1949.

[9] VON HAAST, J. *Proc. zool. Soc. Lond.*, 7, 1876.

[10] *Idem. Ibid.*, 457, 1876.

[11] FITZSIMONS, F. W. «The Natural History of South Africa — Mammals». Vol. 4. Longmans, Green & Co., Londres, 1920.

[12] LYDEKKER, R. *Proc. zool. Soc. Lond.*, 420, 1911.

[13] BOSCHMA, H. *Proc. K. Ned. Akad. Wet.*, **53**, 775, 1950.

[14] CABRERA, A., et YEPES, J. «Historia Natural Ediar. Mamíferos sud-americanos». Compañía Argentina de Editores, Buenos Aires. 1940.

[15] HARMER, S. F. «Report on Cetacea stranded on the British Coasts from 1913 to 1926». No. 10. British Museum, Londres, 1927.

[16] HUBBS, C. L. *J. Mammal.*, **27**, 242, 1946.

[17] GRAY, D. *Proc. zool. Soc. Lond.*, 726, 1882.

[18] MILLAIS, J. G. «The Mammals of Great Britain and Ireland», Vol. 3. Longmans, Green & Co., Londres. 1906.

[19] HARMER, S. F. «Report on Cetacea stranded on the British Coasts during 1917». No. 5. British Museum, Londres, 1918.

[20] JUNGE, G. C. A. *Levende Nat.*, **41**, 16, 1936.

La forme des récifs de corail

C. M. YONGE

Croissance et persistance des récifs coralliens dues à l'action réciproque de nombreux facteurs, notamment: faune et flore marines, vent et vagues. Les récifs frangeants se forment dans les eaux côtières peu profondes et les récifs d'îles dans les chenaux abrités entre les récifs de barrière et la côte, tandis que les atolls s'élèvent en plein océan. Les caractéristiques principales de chaque type sont décrites et illustrées.

Les récifs vivants de corail sont des colonies de plantes et d'animaux marins que l'on ne trouve qu'en mer tropicale peu profonde où la température descend rarement au-dessous de 20°. On les rencontre parfois hors des tropiques, quand la présence de courants chauds effluents comme dans l'Atlantique autour des Bermudes, leur permet de dépasser cette limite. Les organismes qui forment la plupart des récifs sont les coraux pierreux, ou madréporaires, animaux ressemblant essentiellement aux anémones de mer, mais munis d'un squelette calcaire à la surface duquel ils s'étalent, et de coupes ou calices protecteurs où ils peuvent se rétracter. Selon les espèces, et parfois l'influence du milieu, la colonie devient massive, branchue, foliacée, ou fait croûte. Il s'agit là des coraux formant récifs, à distinguer des espèces alliées habitant les mers froides ou profondes. On trouve avec eux des spécimens de tous les groupes importants de la faune marine. Il y a des coraux mous (Alcyonidés) apparentés aux premiers, et des coraux cornés (Gorgonia) particulièrement nombreux sur les récifs antillais ainsi que de nombreux mollusques, vers et crustacés, sans compter les échinodermes tels qu'étoiles de mer, oursins et espèces variées d'holothuries ou bêches-de-mer. Les crevasses et les pierres abritent d'innombrables animaux plus petits. Non moins importante est la vie végétale: algues semblables à celles des côtes de la zone tempérée, de vie limitée et offrant une succession d'espèces au cours de l'année. Mais ce sont les algues calcaires vertes et rouges qui forment ces concrétions permanentes essentielles au maintien des récifs.

Un récif est, géologiquement parlant, une masse de calcaire formée par les squelettes des coraux mêlés de coquilles allant du bénitier géant aux minuscules protozoaires foraminifères à coquilles cloisonnées spiraliformes. La surface seule avec ses fissures est habitée. Les squelettes des coraux et les grosses coquilles sont, pour ainsi dire, les pierres de construction, tandis que les coquilles plus petites et les fragments brisés tiennent lieu de libages. Mais ce sont les plantes qui fournissent le ciment indispensable: nullipores calcaires roses, *Lithothamnion* pour la plupart, qui forment une crête enveloppante comme le montrent les figures 1 et 10 là où se produit le ressac. L'algue calcaire verte *Halimeda* est parfois abondante en eau peu profonde et forme des excroissances branchues.

La masse principale du récif est nourrie par la mer qui fournit aux coraux les animaux microscopiques dont ils s'alimentent ainsi que les sels de calcium qui, incorporés à leur squelette, forment la substance du récif. Un récif vivant est, en effet, une entité dont les habitants — si divers qu'ils soient — dépendent les uns des autres pour tous les aspects de leur existence: nourriture, protection, base de fixation et dans certains cas exposition au ressac et même périodiquement à l'air, quand se produit le reflux. De nombreux animaux aident, avec les algues, à édifier le récif mais presque autant contribuent à le détruire. Toute une variété de mollusques, de vers, d'oursins, d'éponges et même de bernacles attaquent le roc de façon chimique ou mécanique, tandis que certains végétaux y poussent leurs prolongements. Les fragments de corail eux-mêmes sont petit à petit réduits en poussière par le passage au travers des bêches-de-mer. La mer est, d'autre part, le plus grand agent d'érosion. Crossland [1] n'a-t-il pas montré que cette force destructive a le dessus autour de Tahiti et que les récifs sont en voie de régression ?

Le développement et la forme ultimement atteints par le récif sont le résultat du jeu de facteurs à action réciproque dont certains sont intrinsèques, comme le taux et le genre de croissance des divers coraux, tandis que d'autres tiennent au milieu. Prenons d'abord le cas le plus simple, celui des récifs frangeants. On les trouve dans les eaux peu profondes entourant les îles rocheuses et les continents. Ils débutent par la fixation de larves coralliennes, suivie de la formation du premier

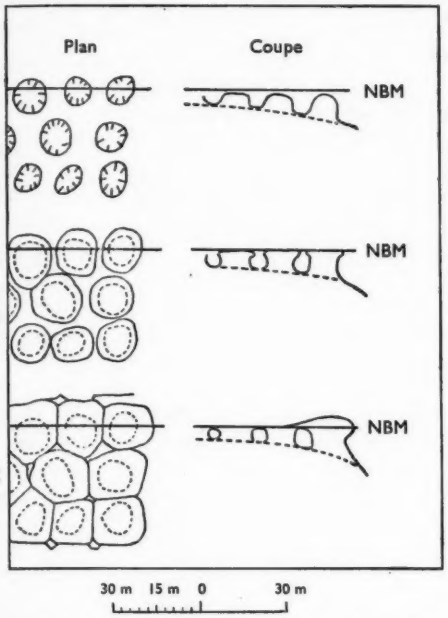


FIGURE 1 – *Atoll de Bikini, diagrammes illustrant la formation des chambres à piliers sur la crête des récifs exposés.* A, *protubérances de* Lithothamnion; B, *croissance latérale et en pente dans la région du ressac;* C, *formation d'un nouveau plancher de récif avec des chambres à piliers au-dessous;* NBM, *niveau de basse marée.* (*De Tracey, Ladd, et Hoffmeister.*)

polype et du premier calice du squelette auxquels s'en ajoutent d'autres au fur et à mesure de la croissance de la colonie. Le développement se fait en hauteur vers la source de lumière, comme l'ont prouvé de multiples expériences dont la plus simple est de suspendre horizontalement sous l'eau une branche de corail cassée. La croissance de l'extrémité brisée se fera invariablement vers la lumière [2].

Les coraux formateurs de récifs ne vivent qu'à des profondeurs éclairées dépassant rarement 46 m. Ce besoin de lumière est peut-être dû à la présence constante dans leurs tissus d'innombrables algues brunes unicellulaires dont certains atteignent 1/100e de mm de diamètre et que l'on appelle collectivement zooxanthelles. On en a compté jusqu'à 7400 dans une larve corallienne d'un mm de long. La valeur des relations entre les symbiotes corallien et végétal est sous considération depuis longtemps, mais on est sûr maintenant que les plantes ne servent en rien à la nourriture des coraux, car les tissus les rejettent au lieu de les consommer quand manquent les proies animales [3]. On a pensé aussi que les coraux bénéficient de l'oxygène produit par la photosynthèse des plantes [4] mais cela n'est pas prouvé, l'eau autour des coraux étant d'ordinaire bien oxygénée. Toutefois, quand elles produisent des protéines à partir d'hydrates de carbone, les zooxanthelles utilisent tous les déchets azotés ou phosphoriques, ammoniaque et phosphates principalement, produits par les coraux [3]; ces derniers sont donc automatiquement retirés des tissus animaux en même temps que les autres sous-produits du métabolisme, tels que l'anhydride carbonique. Les plantes servent donc d'organes excréteurs aux coraux qui n'en ont pas, augmentant ainsi leur vitalité. Cela ne compte pas véritablement pour les colonies individuelles qui peuvent exister sans zooxanthelles mais a une importance vitale pour les communautés de coraux bâtisseurs de récifs, en raison de l'addition de forces supplémentaires de croissance et de réparation essentielles à l'édification et au maintien des récifs.

Quelle qu'en soit la cause, les coraux poussent verticalement et finalement émergent à la surface. A mesure qu'ils s'en rapprochent, la différence entre les conditions existant sur leurs deux côtés s'accentue. Etant donné que les vagues arrivant sur une côte dévient afin de déferler à angle droit sur cette côte, le côté du récif face à la mer recevra

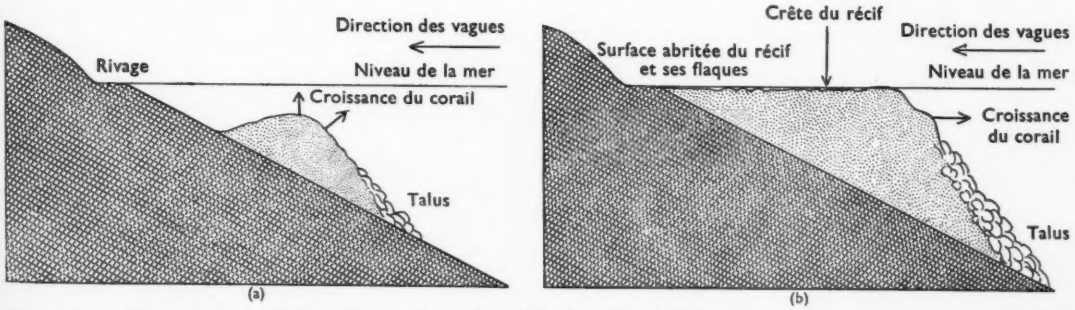


FIGURE 2 – *Diagramme montrant les diverses étapes de la formation d'un récif frangeant;* (a) *masse de corail* (*en pointillé*) *avant d'atteindre la surface;* (b) *récif frangeant s'étendant vers la mer.*

donc la houle déferlante, tandis que le côté opposé baignera dans une eau calme mais bourbeuse. L'extrémité supérieure du récif sera aussi exposée à l'air à marée basse. En résumé, nous avons donc affaire, comme le montre la figure 2, à une colonie qui en raison de sa croissance même, est entourée de conditions très variées: une surface exposée à la mer, une crête recevant le ressac et derrière elle une surface plane se fusionnant, lorsque d'une largeur suffisante, à une zone d'eau abritée peu profonde où s'amassent les sédiments. La crête, la surface plane et la partie supérieure de la masse du récif plus près de la côte seront toutes plus ou moins exposées à l'air.

Arrêtons-nous un instant pour envisager l'évolution des coraux. Il n'est pas improbable qu'ils aient débuté en eau peu profonde et n'aient que petit à petit formé des colonies. Mais sous les tropiques, la symbiose avec les zooxanthelles aidant, leur force de croissance s'en trouva accrue et de grandes colonies se formèrent, qui finirent par atteindre la surface. Plus tard l'adaptation de certains genres ou espèces aux conditions nouvelles engendrées par la croissance du récif consolida le succès initial. Ainsi l'acquisition de ces adaptations fonctionnelles permettant aux animaux des côtes de supporter les écarts de température et de salinité et l'alternance de la submersion et de l'émergence, n'en est qu'un exemple.

Les coraux constructeurs actuels ont ces possibilités d'adaptation. Certaines espèces ne vivent que sous la surface à des profondeurs variées; d'autres supportent la proximité des côtes à des degrés divers de sorte qu'on les trouve à partir du niveau de la marée basse [5] et au-dessus. D'autres résistent au choc de la houle du Pacifique grâce aux squelettes massifs dont ils sont munis pour la plupart, mais il y a aussi les colonies rameuses d'*Acropora* [6]. De délicates espèces branchues et foliacées poussent à l'abri du vent tandis que des colonies toutes en surface vivent sur la crête de *Lithothamnion*, n'offrant aucune résistance à la force des eaux. Les coraux les plus spécialisés vivent détachés sur le sable. Ce sont le corail champignon, *Fungia* [7] et espèces alliées et, dans l'Atlantique, le *Maeandra areolata* [8]. Tous ont tout d'abord un point d'attache mais sont libérés par le déplacement des eaux et déposés avec d'autres fragments sous le vent et finalement sur le sable. Ils réagissent aux dangers de ce lit instable en se dégageant si le sable les recouvre (figure 9) et, du moins dans le cas des *Fungia*, en étant capables de se retourner sur eux-mêmes.

D'autres coraux se modifient sous les conditions ambiantes. On crut tout d'abord avoir affaire chaque fois à une espèce différente, mais des observateurs, Wood-Jones [9] en particulier, soutinrent avec quelque exagération que les espèces coralliennes sont peu nombreuses, mais que les formes qu'elles revêtent sont légion. L'opinion moderne observe un juste milieu: il y a beaucoup d'espèces différentes mais certaines sont plastiques et moulées pour ainsi dire par leur environnement. Le succès des coraux bâtisseurs de récifs serait donc dû à l'existence de certaines espèces hautement adaptées à la vie dans des conditions données et d'autres capables de vivre et d'être modifiées par une infinité de conditions diverses.

Quand l'exposition à l'air arrête la croissance vers le haut, le récif

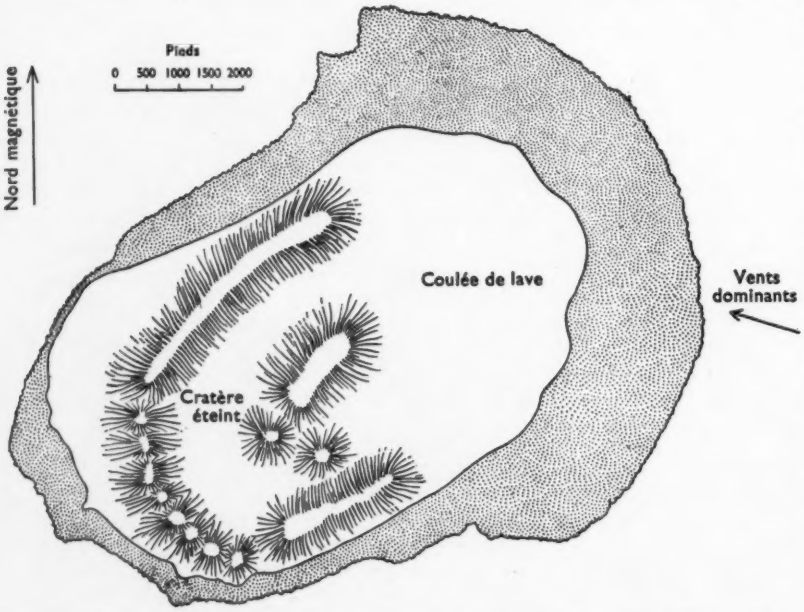


FIGURE 3 – *Contour de l'Ile de Mer montrant le développement beaucoup plus grand du récif frangeant (pointillé) du côté exposé de l'île. (Modifié d'après Mayor.)*

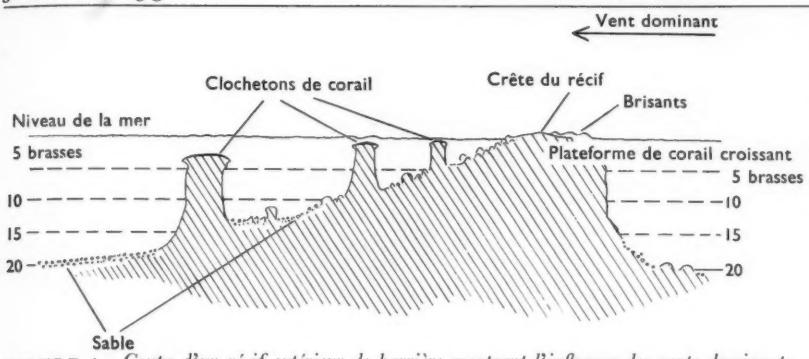


FIGURE 4 – *Coupe d'un récif extérieur de barrière montrant l'influence des vents dominants sur la forme. (Modifié d'après Paradice.)*

continue à croître très activement sur une surface de plusieurs mètres, mais en pente face à la mer. Sous ce bord qui avance, s'accumule un talus de fragments brisés. Le récif pousse invariablement contre la force des vagues: même dans le cas d'une île isolée comme l'île de Mer dans le détroit de Torrès (figure 3), volcan éteint entouré d'une ceinture corallienne, il est beaucoup plus large du côté exposé aux vents alizés du sud-est. Par contre, du côté sous le vent de l'île, le récif est très étroit et fait de coraux très fins et branchus comme les bois d'un cerf.

On trouve l'explication de l'orientation des récifs par rapport à la force des eaux dans la description de Paradice [10] d'un des récifs extérieurs de la Grande Barrière. Il remarqua, comme le montre la figure 4, la descente abrupte en eau profonde du côté exposé au ressac du Pacifique, la plateforme grandissante de corail à quelques brasses au-dessous du niveau de la mer, la crête du récif cimentée par le *Lithothamnion* et la pente douce du côté sous le vent, ainsi que la poussée à cet endroit de rameaux de corail vivant en forme de champignon très souvent, à cause d'une exubérance de la poussée au sommet. Le lit que l'on aperçoit entre ces derniers est fait de sable corallien. L'Expédition du Récif de la Grande Barrière révéla l'existence répétée de ces conditions, ailleurs décrites de façon plus précise [6].

La description des récifs d'îles abrités que l'on trouve dans le chenal entre la Grande Barrière et la terre ferme, comme les Iles Basses, base de l'expédition, est encore plus révélatrice. La figure 5 montre comment le récif est orienté par rapport aux alizés du sud-est. Il est convexe du côté de la mer, compact mais sans crête de *Lithothamnion* et descend rapidement en eau profonde. Du côté sous le vent il est concave, formant un mouillage abrité, tandis qu'une petite caye (îlot rocheux) s'amoncelle à partir des matériaux qui ont franchi ou contourné le récif. Au large de la côte on trouve de nombreux clochetons de corail (figure 8) se dressant au-dessus des eaux de profondeur croissante. Dans l'ensemble il y a beaucoup de ressemblance

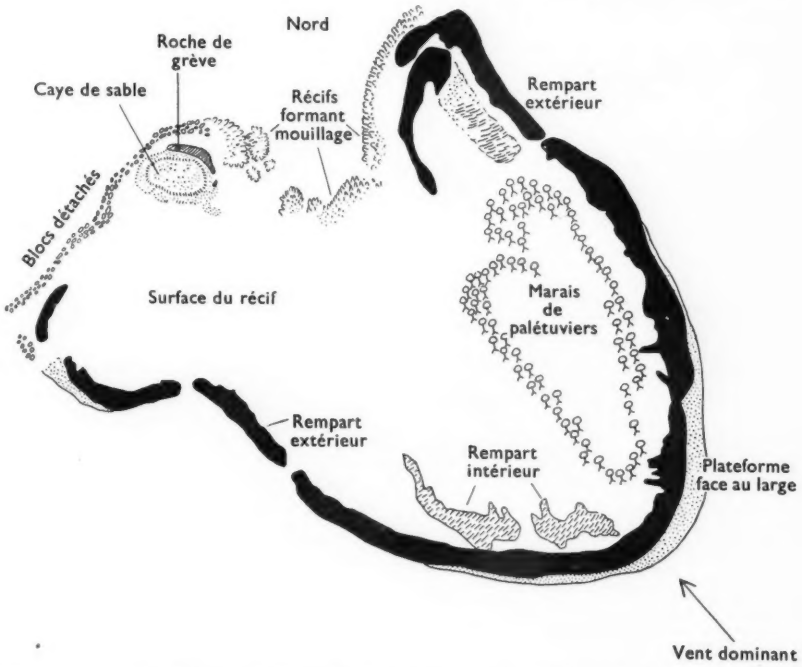


FIGURE 5 – *Iles Basses, N. Queensland, contour montrant la forme du récif et les diverses formations à sa surface. (D'après Stephenson et collaborateurs.)*

FIGURE 6 – *Iles Basses, rive nord-ouest du récif montrant au premier plan la zone de blocs (exposée à marée basse); au fond la caye de sables.*

FIGURE 7 – *Vavau, Iles Tonga, roche corallienne surélevée montrant son érosion par la mer entre les laisses de marée.*

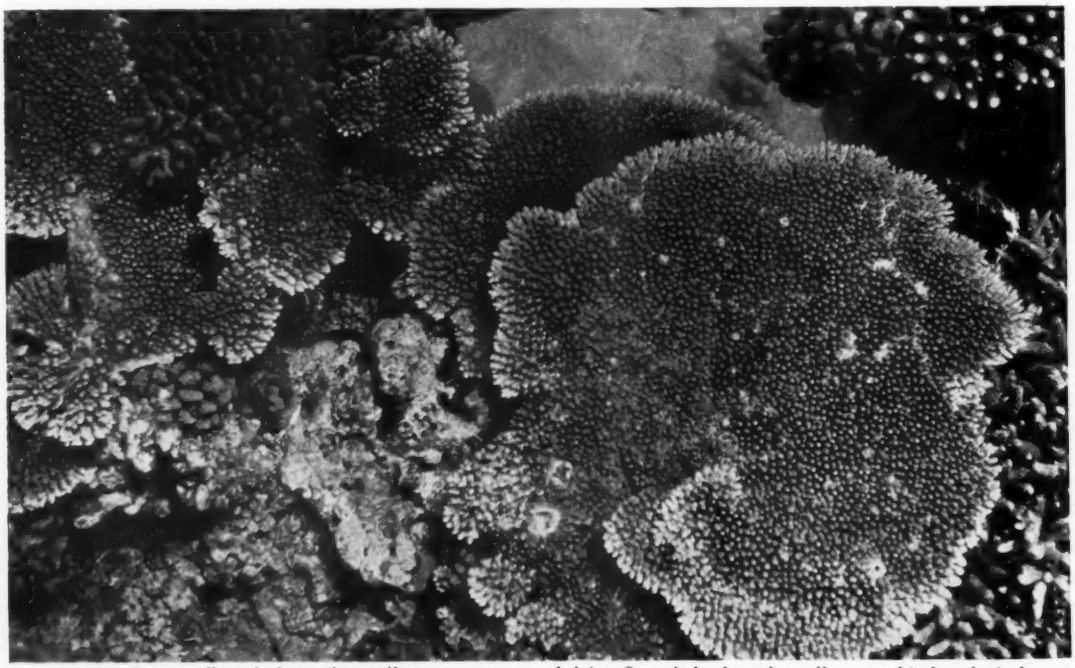


FIGURE 8 – *Sommet d'un clocheton de corail poussant en eau abritée. On voit les branches adjacentes s'étalant latéralement et formant champignon.*

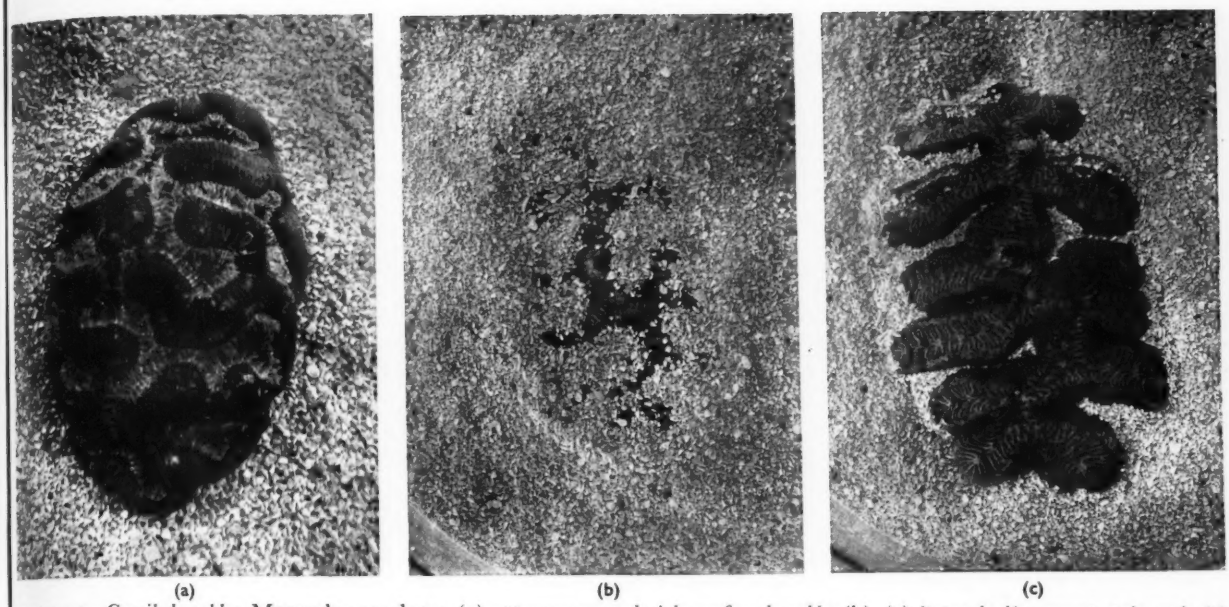


FIGURE 9 – *Corail de sables,* Maeandra areolata; (a) *apparence normale à la surface du sable;* (b), (c) *étapes de dégagement après avoir été recouvert de sable.*

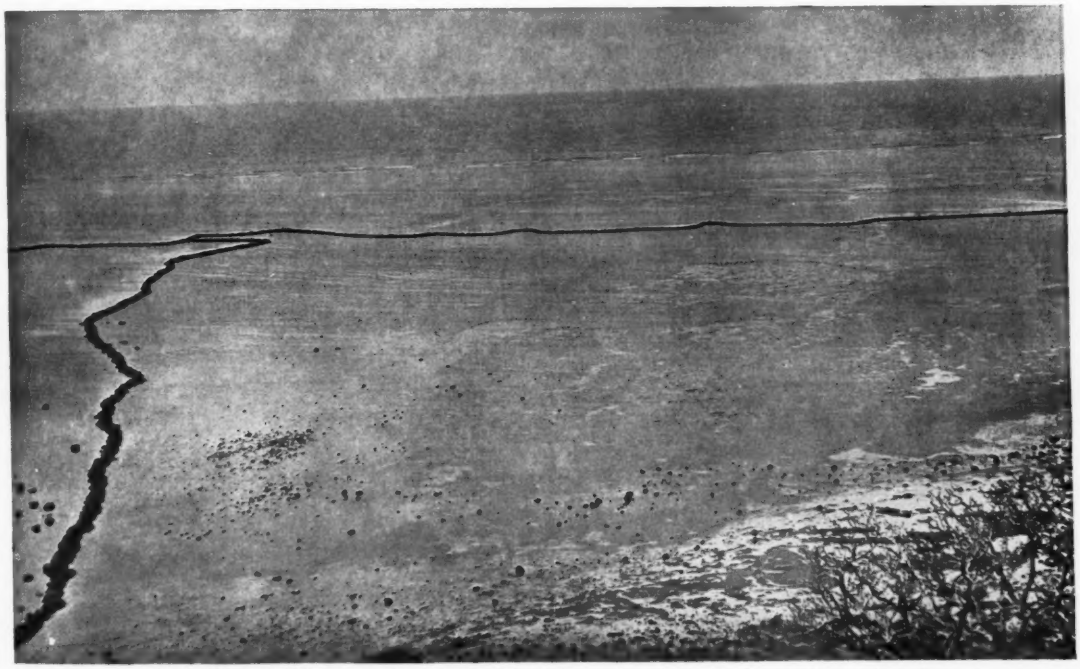


FIGURE 10 – *Ile de Mer, récif frangeant du côté exposé (voir figure 3), crête du récif avec crête de* Lithothamnion *au-delà du rempart de pièges à poissons indigènes.*

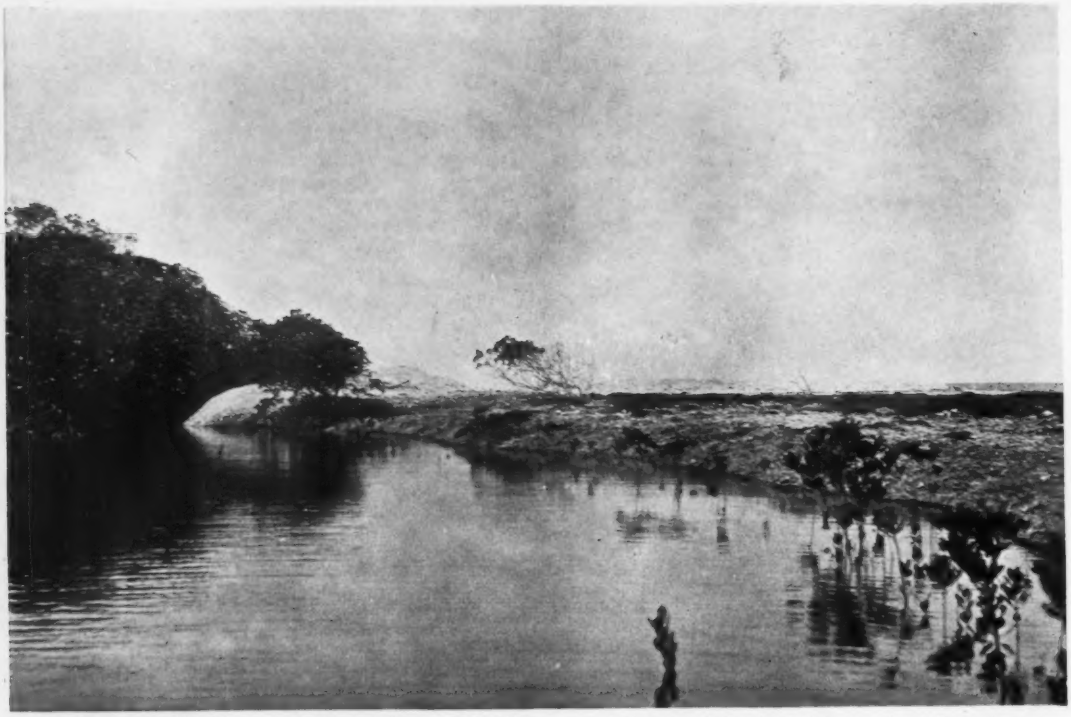


FIGURE 11 – *Iles Basses, escarpement du rempart intérieur avec le fossé protégé et les palétuviers du côté sous le vent.*

avec les récifs de barrière mais la force des eaux est bien moindre en raison du plus grand degré de protection. C'est peut-être pour la même raison que les matériaux jetés sur les récifs d'îles y restent, et qu'il en résulte toute une variété d'excroissances formées à partir de quelque débris calcaire et moulées ensuite par la seule action du vent et des vagues. Beaucoup pensent qu'une élévation ou un abaissement du niveau de la mer sont les uniques facteurs permettant aux matériaux de s'accumuler à la surface d'un récif, mais un certain degré de protection est aussi essentiel. Les cayes de sable ne se produisent jamais sur les récifs de barrière extérieurs. On ne les trouve que sur les récifs intérieurs.

Parallèlement à la plateforme exposée à la mer s'élèvent plusieurs lignes de fragments coralliens formant rempart. Elles descendent en pente douce vers la mer mais sont abruptes de l'autre côté comme le montre la figure 11. Plusieurs observations faites en 1934 [11] et 1945 [12] aux Iles Basses ont révélé que depuis celle de 1928–9 [6], ces mêmes remparts s'étaient déplacés dans la direction de l'île, poussés par de nouvelles lignes se formant à cet endroit (figure 12). Dans la zone abritée ainsi formée poussent des palétuviers tandis qu'un vaste marais couvre la plus grande partie du récif.

Si la protection est insuffisante pour les palétuviers, la surface du récif exposée à marée basse est alors une sorte d'arène parsemée de flaques où vivent des coraux et entourée d'un fossé à l'abri du rempart extérieur (figure 5). Du côté nord-ouest, qui est abrité, des amas de roc corallien forment la zone de blocs visibles dans la figure 6. Ce sont les restes des arbres de corail poussant au large de la côte. A la différence des coraux que l'on trouve sur la face exposée du récif continuellement soumise au travail de la mer, ces derniers poussent en eau abritée. Ils deviennent par ce fait instables, se brisent et sont finalement jetés à la surface du récif par les vagues causées par les cyclones qui pendant l'été soufflent parfois dans ces parages. On ne trouve ces dépôts de blocs que dans la zone des cyclones dont les Indes orientales [13] et le détroit de Torrès ne font pas partie. Le côté intérieur des récifs extérieurs de barrière montre une formation semblable de blocs plus

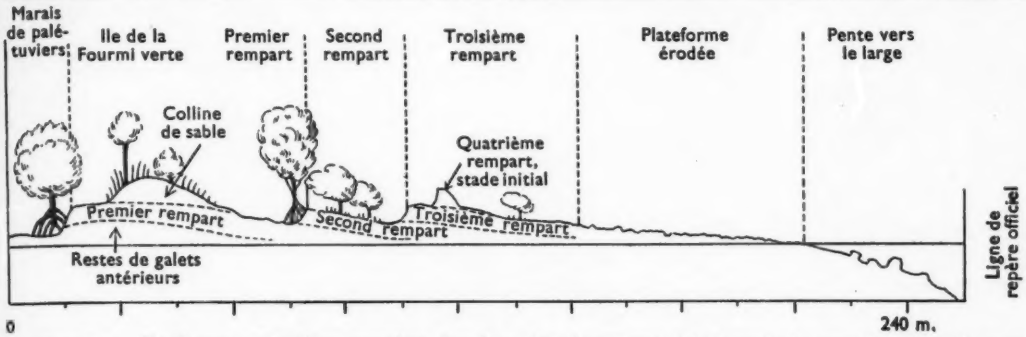


FIGURE 12 – *Iles Basses, coupe diagrammatique dans le système de remparts, échelle verticale agrandie* 5 *fois. Le quatrième rempart a été formé depuis* 1929. (*D'après Fairbridge et Teichert.*)

petits, mais on ne sait s'ils ont la même origine et viennent du côté sous le vent, ou s'ils ont été transportés, comme les fragments menus qui forment les remparts, par-dessus la crête du récif.

Les débris calcaires s'accumulent ainsi en remparts de galets, dépôts de blocs ou bancs de sable. L'enchevêtrement des morceaux donne leur solidité aux premiers; leur poids seul maintient les seconds et le sable est consolidé par des couches de roche de grève au pied de la caye. Cette roche consiste en particules de sable cimentées par du carbonate de calcium et étaye la masse de sable pendant l'été où les tempêtes du nord pourraient facilement la disloquer. Même en temps normal, les vagues et l'air attaquent continuellement sable, blocs et remparts qui subissent encore une action rongeante entre les deux niveaux de la marée. Cette dissolution, dont les rocs submergés sont préservés, est mise en évidence autour des îles coralliennes surélevées (figure 7) où la mer a creusé une entaille profonde. N'oublions pas pourtant que la croissance des coraux compense et même excède toute destruction.

Des effets d'érosion semblables ont été observés par des chercheurs hollandais aux Indes néerlandaises [13] et par nous-mêmes aux Cayes Tortugas dans le golfe du Mexique. Ils ne sont pas moins frappants dans les atolls qui sont de pures formations coralliennes et sur lesquels les Américains ont beaucoup élargi nos connaissances par leurs travaux récents à Bikini et les atolls adjacents des îles Marshall [14]. On y retrouve les caractères déjà notés sur les récifs de barrière et d'îles, mais modifiés ici par la grande force environnante de la mer. Tout se passe comme si les deux extrémités du côté exposé d'un récif de barrière se rejoignaient en un grand ovale avec la partie abritée au centre. Mais la ceinture extérieure n'est pas partout la même. Les récifs exposés à la houle soulevée par les alizés du nord-est sont soumis à l'immense force du ressac qui s'y brise continuellement, et le *Lithothamnion* croît en épaisseur (figure 13, *L*), formant, comme sur l'atoll de Funafuti [15] et sur le côté battu des récifs exposés au large de la côte sud de Java [13], toute une série d'éperons séparés par des chenaux où s'engouffre la houle de fond. Des touffes isolées d'algues calcaires y poussent parfois et en se rejoignant à une certaine hauteur comme des champignons, forment tout un système de canaux au-dessous. Les ouvertures faisant communiquer les canaux avec l'air jouent le rôle d'évents d'où l'eau s'échappe comme sous pression. La figure 1 montre la formation détaillée de ces «chambres à piliers» qui servent très effectivement à briser la force des eaux pénétrant dans les canaux. Les surfaces exposées des récifs mieux protégés dans la Grande Barrière sont striées.

Les récifs marginaux du côté occidental de

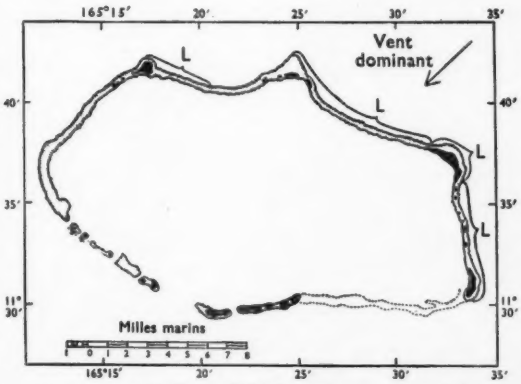


FIGURE 13 – *Atoll de Bikini, contour montrant la disposition des récifs avec des îlots (en noir) entourant le lagon central.* L, *récifs marginaux face au vent avec crête de* Lithothamnion. (*Modifié d'après Tracey, Ladd et Hoffmeister.*)

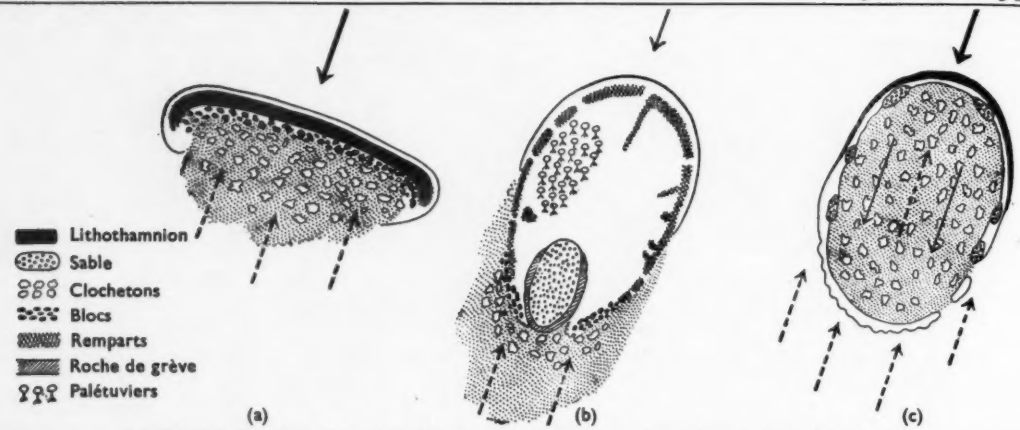


FIGURE 14 – (a) *Récif de barrière;* (b), *récif d'île (sans mouillage, plus typique que les Iles Basses);* (c), *atoll. Les flèches pleines indiquent la direction des vents dominants et, par leur épaisseur, la force des vagues qu'ils engendrent. Surfaces de récif épaissies du côté exposé au vent, crête de* Lithothamnion *dans* (a) *et* (c) *où les eaux sont très puissantes. Les flèches brisées indiquent la direction des vents et la force moyenne (très variable) des vagues causant l'érosion des coraux instables du côté sous le vent. Le dégradé indique les eaux peu profondes.*

Bikini, qui est abrité, ne sont pas exposés à un ressac permanent si fort mais subissent cependant une certaine érosion du fait de la variation estivale des vents. L'effondrement de certaines parties du bord du récif cause des enfoncements où s'enfouissent parfois des blocs détachés. Les récifs qui frangent le lagon sont plus abrités au nord-est, et sont exposés au sud-ouest à la houle soulevée dans le lagon par le vent, ce qui modifie d'autant leur forme mais de façon moindre que pour les récifs extérieurs. Le lagon lui-même est hérissé de mamelons coralliens atteignant presque la surface et de diamètre variant entre quelques dizaines et quelques centaines de mètres. 180 000 sondages effectués dans le lagon, long de 39 km, de l'atoll d'Eniwetok révélèrent plus de 2000 protubérances [14].

Le mouvement constant de la mer produit toujours sur la forme d'un récif corallien poussant verticalement sur une plateforme sousmarine isolée — quelle que soit sa stabilité — les effets déjà signalés dans le cas des récifs frangeants. Le bord de la plateforme est dans les conditions les plus favorables, car même son côté abrité reçoit une eau claire. Mais à mesure que croît le récif en pourtour, l'activité des eaux à l'intérieur diminue; elles deviennent bourbeuses et déposent des sédiments. Certaines espèces de coraux s'y fixent bientôt et forment les clochetons caractéristiques. La figure 14 montre, en regard des traits caractéristiques d'un récif de barrière exposé (*a*), ceux d'un récif d'île abrité (*b*) et les compare avec ceux d'un atoll (*c*). Dans ce dernier cas, bien que le degré d'exposition périphérique soit aussi élevé, si ce n'est plus, que celui d'un récif de barrière, l'intérieur, entourant le lagon, est bien abrité.

BIBLIOGRAPHIE

[1] CROSSLAND, C. *J. linn. Soc. Lond.* (*Zool.*), **36**, 577, 1928; *Proc. zool. Soc. Lond.*, 717, 1928.

[2] KAWAGUTI, S. *Palao Trop. Biol. Sta. Studies*, **1**, 199, 209, 1937.

[3] YONGE, C. M., *et al. Sci. Rep. Gt Barrier Reef Exped.*, **1**, 13, 59, 83, 135, 177, 213, 353, 1930–40.

[4] VERWEY, J. *Treubia*, **13**, 169, 1931.

[5] MANTON, S. M. *Sci. Rep. Gt Barrier Reef Exped.*, **3**, 274, 1935.

[6] STEPHENSON, T. A., STEPHENSON, A., TANDY, G., et SPENDER, M. *Ibid.*, **3**, 17, 1931.
STEERS. *Ibid.*, **3**, 1, 1930; *Geogr. J.*, **74**, 232, 341, 1929.
SPENDER. *Ibid.*, **76**, 193, 273, 1930.

[7] MARSHALL, S. M., et ORR, A. P. *Sci. Rep. Gt Barrier Reef Exped.*, **1**, 93, 1931.

[8] YONGE, C. M. *Pap. Tortugas Lab.*, **29**, 185, 1935.

[9] WOOD-JONES, F. *Proc. zool. Soc. Lond.*, 518, 1907.

[10] PARADICE, W. E. J. *Rep. Gt Barrier Reef Comm.*, **1**, 52, 1925.

[11] MOORHOUSE, F. W. *Ibid.*, **4**, 37, 1936.

[12] FAIRBRIDGE, R. W., et TEICHERT, C. *Geogr. J.*, **III**, 67, 1948.
FAIRBRIDGE, R. W. *J. Geol.*, **58**, 330, 1950.

[13] UMBGROVE, J. H. F. *Bull. geol. Soc. Amer.*, **58**, 729, 1947. (Résumé de valeur des recherches récentes sur les récifs coralliens aux Indes néerlandaises.)

[14] EMERY, K. O. *Ibid.*, **59**, 855, 1948.
TRACEY, J. I., LADD, H. S., et HOFFMEISTER, J. E. *Ibid.*, **59**, 861, 1948.
LADD, H. S., TRACEY, J. I., WELLS, J. W., et EMERY, K. O. *J. Geol.*, **58**, 410, 1950.

[15] «The Atoll of Funafuti». Royal Society, Londres, 1904.

Antibiotiques et antagonismes microbiens en pathologie végétale

ERNA GROSSBARD

Spécificité des antibiotiques. Les antibiotiques utilisés en pathologie végétale sont surtout des fongicides. Exemples de traitement antifongique. Protection des plantes par stimulation de l'antagonisme microbien au moyen d'engrais organiques ou autres, et applications pratiques.

L'existence même de l'homme dépend de l'activité de la microflore du sol. Les constituants de cette association complexe sont parmi les facteurs les plus importants de la production de nourriture; ils fixent l'azote atmosphérique et interviennent dans la transformation continuelle des résidus animaux et végétaux en substances nutritives pour les plantes et donc finalement en nourriture pour l'homme. A ces intéressantes propriétés les recherches récentes nous permettent d'ajouter celle que présentent certains microorganismes du sol (bactéries actinomycètes, champignons) de fabriquer des substances chimiothérapiques très actives. On a donné à ces substances chimiques le nom d'antibiotiques: pénicilline, streptomycine, chloromycétine et auréomycine en sont des exemples bien connus.

PROPRIÉTÉS DES ANTIBIOTIQUES

Parmi toute la gamme de propriétés qui caractérisent les antibiotiques nous retiendrons la spécificité. En effet, l'action antibiotique est sélective: seuls certains groupes de microorganismes sont sensibles à un antibiotique donné. La production et la concentration de ces agents inhibiteurs obéissent aussi à une spécificité de souche, dans une même espèce certaines souches peuvent être très efficaces tandis que d'autres ne produisent pas l'antibiotique désiré. La production d'antibiotique dépend aussi des conditions de culture et en particulier de la composition du milieu. Les facteurs qui régissent la stabilité sont spécifiques. Quelques antibiotiques sont toxiques pour les tissus animaux et végétaux, d'autres ne sont toxiques que pour les tissus végétaux et n'affectent pas ceux des animaux. Le mode d'action des antibiotiques est très variable. Il consiste en une «subtile interférence» avec certaines réactions cellulaires des microorganismes sensibles. Cette interférence produit le plus souvent une inhibition de la croissance, plutôt qu'une action léthale directe. Les antibiotiques possèdent en général la propriété de lyser (dissoudre) les corps microbiens. Fabriqués eux-mêmes par des microorganismes, ils préviennent cependant l'infection causée par la multiplication d'un grand nombre des microorganismes responsables de maladies de l'homme, des animaux ou des plantes.

La diversité de formation et d'action des antibiotiques est en rapport avec la diversité de leur composition chimique. Les sources les plus importantes d'antibiotiques sont les moisissures et les actinomycètes; un grand nombre de ceux produits par les moisissures sont des acides organiques, tels les acides aspergillique, gladiolique, mycophénolique ou pénicillique, alors que ceux dérivés des actinomycètes, par exemple la streptomycine, ont tendance à posséder des propriétés basiques. Beaucoup d'antibiotiques fabriqués par les bactéries sont des polypeptides, par exemple la subtiline.

Une même espèce peut donner plusieurs antibiotiques et d'autre part plusieurs organismes différents peuvent fournir un seul et même composé.

LES ANTIBIOTIQUES DANS LA LUTTE CONTRE LES MALADIES VÉGÉTALES

On peut aborder le problème de l'emploi des antibiotiques pour la protection des plantes sous deux angles différents. On peut les utiliser purifiés et concentrés en vaporisations ou en pulvérisations appliquées aux graines ou aux sols, ou bien encore, exploiter leur action indirectement en se servant des antagonismes microbiens.

Nous possédons à l'heure actuelle très peu d'informations sérieuses sur la protection des plantes par les antibiotiques. Une grande partie des essais ont porté sur ceux qui ont donné de bons résultats en thérapeutique humaine. La majorité des bactéries pathogènes des plantes sont

Gram-négatives; la streptomycine étant active à la fois contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives, on a pu effectuer avec cet antibiotique des essais couronnés de succès. On peut citer, comme exemple de bactéries pathogènes des végétaux très sensibles à la streptomycine, les espèces de *Xanthomonas* et de *Pseudomonas* qui causent des mosaïques des feuilles du concombre, de la fève, de la tomate et des fruits à noyaux, *Bacterium carotovorum*, agent de la pourriture molle de beaucoup de racines, *Bacterium tumefaciens* responsable de la tumeur du collet et *Corynebacterium michiganense*, bactérie pathogène des végétaux exceptionnellement Gram-positive. La streptomycine est l'un des seuls antibiotiques à avoir trouvé une application pratique; on l'a utilisée avec succès contre le cancer bactérien de la tomate (*Corynebacterium michiganense*) en traitant les graines, et comme moyen de lutte très efficace contre les tumeurs du collet. La tumeur du collet est une maladie d'un grand nombre de végétaux, spécialement de ceux qui se propagent par greffe. Ces tumeurs ont une formation que l'on suppose être quelque peu analogue à celle des tumeurs chez les animaux. Pour cette raison, on effectue actuellement beaucoup de recherches, surtout au point de vue des actions antibiotiques, à la fois sur l'agent de la maladie (*Bacterium tumefaciens*) et sur les tissus des tumeurs. On a aussi tenté d'utiliser la pénicilline en enveloppant de coton imbibé d'antibiotique brut ou sommairement purifié les galles aériennes, ou en immergeant pendant la période de vie ralentie, les racines et le collet des plantes dans cette solution, ou bien encore en injectant la solution dans la tige. On a noté non seulement un arrêt de la progression de la maladie mais aussi la destruction et en fin de compte le desséchement des tumeurs déjà formées. La streptomycine est plus efficace que la pénicilline. En fait il règne encore quelque incertitude sur l'action des antibiotiques sur les tissus des tumeurs. Les chercheurs qui ont utilisé les préparations les plus pures possibles d'antibiotiques en étudiant le problème en culture de tissus n'observent aucune régression des tissus des tumeurs. Un tel désaccord entre les résultats n'est pas exceptionnel et peut s'expliquer par le fait que les différentes solutions utilisées n'étaient pas standardisées. Cette remarque s'applique probablement aux informations quelque peu contradictoires que l'on possède sur l'actidione, le seul agent antifungique que l'on sait être produit par *Streptomyces griseus*. Tandis que quelques phytopathologistes annoncent avoir obtenu une très bonne protection des fèves contre l'oïdium (provoqué par *Erysiphe polygoni*) en pulvérisant des solutions d'actidione à des concentrations de 5 p.p.m. sans aucun dommage pour les plantes, d'autres auteurs signalent de sérieux effets nocifs de ces solutions.

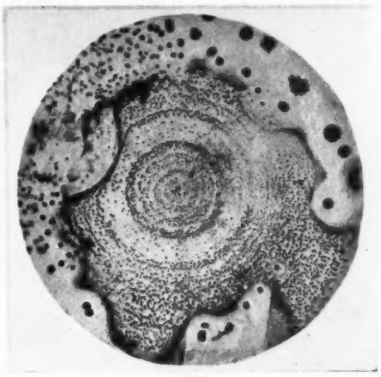
La plupart des maladies humaines sont d'origine bactérienne et, en conséquence, les antibiotiques utilisés en thérapeutique humaine sont des antibactériens. Par contre, ce sont des champignons qui causent la plupart des maladies des végétaux; il faut donc d'abord que les phytopathologistes isolent des matériaux antifongiques. Des recherches poursuivies dans cette voie ont conduit à la préparation d'un certain nombre de substances antifongiques. On peut donner comme exemples la gliotoxine et la viridine, toutes deux tirées de la moisissure verte *Trichoderma*; l'acide gladiolique tiré de *Penicillium gladioli*, parasite des bulbes de glaïeuls; la griséofulvine, la fréquentine et le pigment rouge produits par des *Penicillium* variés du sol; la musarine tirée d'un actinomycète qui inhibe *Fusarium oxysporum cubense*; enfin l'antimycine tirée d'une espèce non identifiée de *Streptomyces*.

Les résultats des expériences récemment publiées en Angleterre sur la griséofulvine sont très encourageants. On a démontré de manière convaincante que cet antibiotique possède les propriétés d'un fongicide systématique: il est absorbé par la racine et transporté dans la plante, ce qui assure une protection intense contre l'infection. On fait croître des laitues au moyen de solutions nutritives contenant de la griséofulvine et l'on cultive des tomates sur sable arrosé à intervalles réguliers avec cet antibiotique. Puis on inocule les laitues avec *Botrytis cinerea* et les tomates avec *Alternaria solani*; on constate alors que le traitement par la griséofulvine réduit considérablement l'importance de la maladie dans les deux cultures. Dans les expériences citées 74% des plants de tomate étaient indemnes.

L'antimycine, isolée aux Etats-Unis et mise à l'essai sur une vaste échelle dans des serres, peut passer pour l'un des plus prometteurs des antibiotiques fongicides. Il inhibe la germination et la croissance de *Venturia inaequalis* (champignon qui produit la tavelure des pommes et des poires) et de beaucoup d'autres agents pathogènes des plantes. Il présente de plus l'avantage de ne causer aucun dommage aux végétaux. Après une ondée artificielle, l'antimycine a conservé son activité pendant longtemps. On peut l'utiliser dans les solutions courantes d'insecticides sans qu'elle devienne inactive. En somme, elle nous montre que dans un avenir assez rapproché les

FI
la
n'e

(a)



(b)

FIGURE 1 – *Exemple de compétition entre* Colletotrichum atramentarium *parasite de la tomate et deux autres microorganismes. En* (a) *la croissance de* C. atramentarium *n'est pas affectée mais en* (b) *s'est produite une colonie anormale.*

FIGURE 2 – *Cette culture de* C. atramentarium *a été ensemencée avec quatre autres microorganismes dont un seul, un actinomycète ensemencé en deux points opposés, s'est montré antagoniste.*

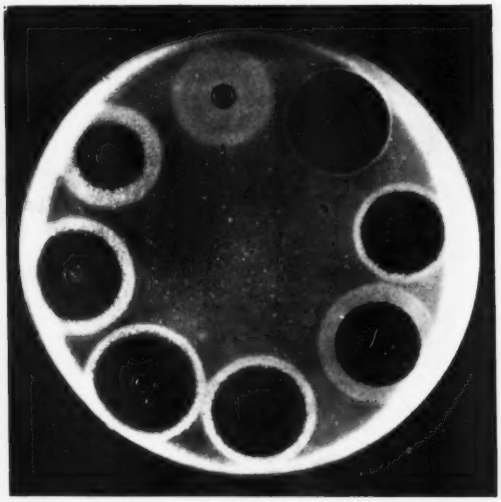


FIGURE 3 – *Essai de liquides tirés de sols ensemencés avec* P. patulum *et additionnés de sources variées d'hydrates de carbone. L'organisme test est une bactérie du sol;* (1) *est un liquide tiré d'un sol non inoculé,* (2) *contient comme référence une solution d'expansine.*

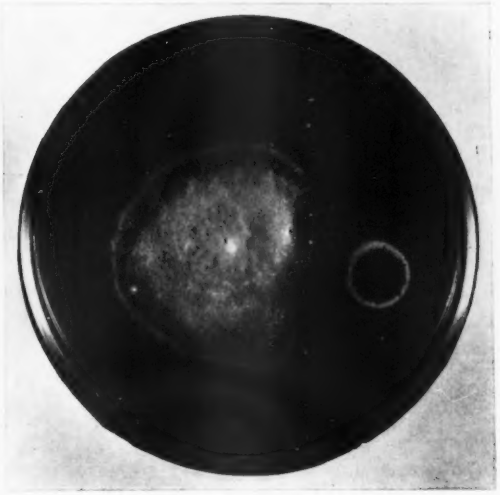


FIGURE 4 – *Désintegration des hyphes d'un champignon causant le mildiou par un microorganisme antagoniste introduit après que le champignon s'est installé.*

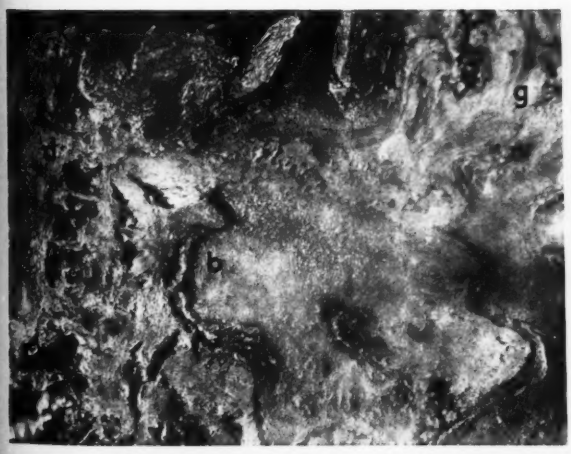


FIGURE 5 – *Coupe transversale d'une tumeur du collet, obtenue artificiellement sur la tige de* Bryophyllum pinnatum, *vingt jours après le traitement à la pénicilline;* (d) *tissu tumoral mort,* (b) *tissu sain;* (g) *n'a pas été traité.* (*D'après J. G. Brown.*)

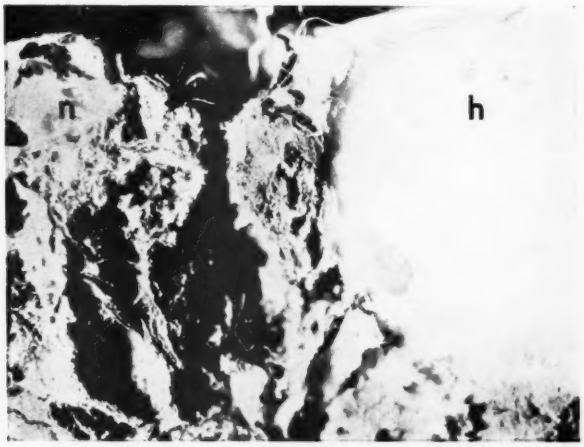
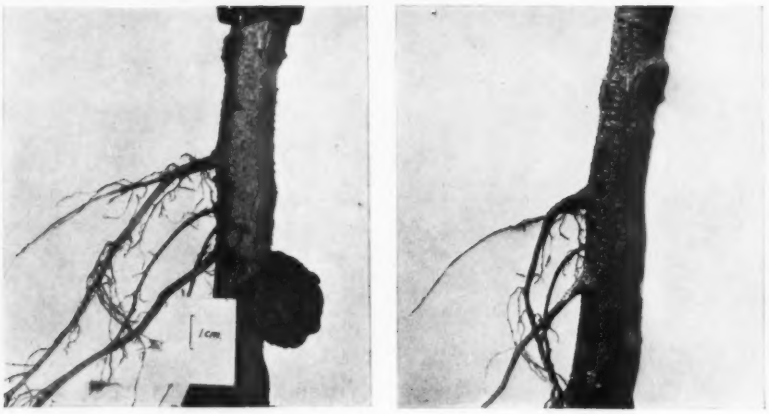


FIGURE 6 – *Coupe transversale d'une tumeur artificielle après traitement à la streptomycine. Le tissu tumoral en* (n) *est mort et désagrégé, le tissu non traité* (h) *n'est pas affecté.* (*D'après J. G. Brown.*)



(a) (b)

FIGURE 7 – *Effet du traitement d'une tumeur du collet de la Reine Claude verte par la pénicilline;* (a) *avant traitement;* (b) *huit semaines après.* (*D'après J. G. Brown.*)

FIGURE 8 – *Photographie de* Aspergillus clavatus. *Cette espèce produit de l'expansine sur les milieux utilisés au laboratoire. En croissance sur des engrais organiques ou sur le sol elle donne un antibiotique.*

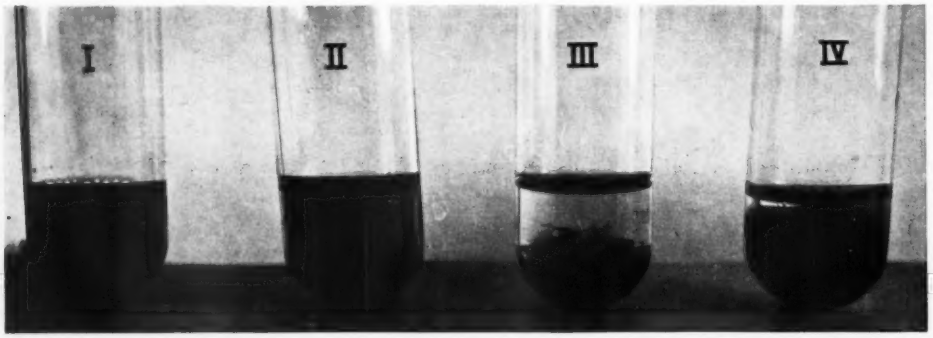


FIGURE 9 – *Inhibition du parasite* Phytophthora *par des extraits de sols ensemencés avec des moisissures produisant des antibiotiques. Les sols ont été ensemencés avec* (I) P. patulum, (II) A. terreus, (III) *une moisissure non identifiée,* (IV) *est un témoin.*

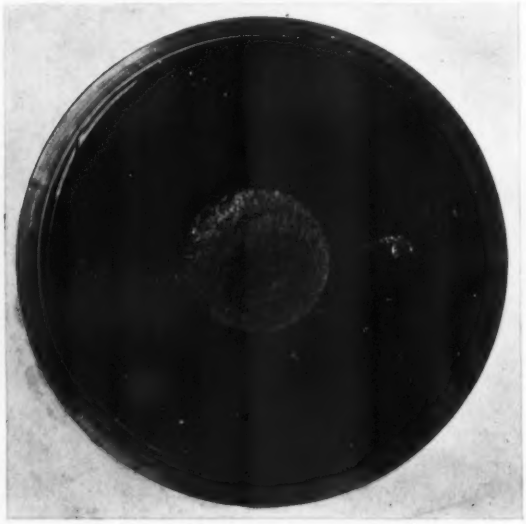


FIGURE 10 – *Inhibition de la croissance de* Bacterium carotovorum, *agent de la pourriture molle, par un disque de* A. clavatus *inséré dans une gelée ensemencée avec les bactéries. La substance active est l'expansine.*

FIGURE 11 – *Inhibition de* Colletotrichum atramentarium *par* (a) *un* Penicillium *fortement antagoniste et* (b) *un* Penicillium *faiblement antagoniste.*

(*J'adresse mes remerciements à MM. J. E. Morton et H. Tooley pour avoir pris les photographies 5–7.*)

us
in-
re.
ues

n-
et

les

antibiotiques pourront fournir une source pratique de nouveaux fongicides. Un des plus grands obstacles à surmonter est le prix de revient élevé de ces nouvelles substances. Il faut cependant noter qu'on a réalisé la synthèse de la chloromycétine à l'échelle commerciale; on peut donc espérer pouvoir un jour produire d'autres antibiotiques de cette manière beaucoup plus économiquement. En fait, pour la protection des végétaux, on peut le plus souvent utiliser avec de bons résultats le produit brut ou grossièrement purifié, ce qui réduit le coût du traitement.

L'ANTAGONISME MICROBIEN

Il existe un moyen de lutte contre les maladies qui permet d'utiliser le principe de l'action antibiotique sans entraîner de grandes dépenses.

Dans les cultures mixtes on observe souvent un phénomène d'inhibition, d'un microorganisme ou d'un groupe de microorganismes, due à l'activité d'un autre. On dit alors qu'il y a antagonisme microbien. On a expérimenté, en Angleterre, une application intéressante de ce mode de lutte contre la maladie. Les laitues sont fréquemment attaquées par la moisissure grise *Botrytis cinerea* et beaucoup de microorganismes sont antagonistes de *Botrytis*. On a pu coloniser les tissus moribonds de laitues, habituellement trouvés sur les feuilles les plus basses, par des organismes antagonistes. Le développement de l'infection par le *Botrytis* dans des plants cultivés sous châssis se trouve considérablement réduit. Ce mode de lutte préventif semble très prometteur.

L'ANTAGONISME MICROBIEN ET LES ENGRAIS ORGANIQUES

C'est spécialement pour les maladies dont l'origine est à rechercher dans le sol que l'on a cherché à appliquer des traitements se basant sur l'antagonisme microbien. On savait empiriquement qu'on peut supprimer beaucoup de parasites du sol en employant de fortes doses d'engrais organiques. Le travail classique accompli en Grande-Bretagne a porté sur la lutte contre la gale de la pomme de terre en incorporant de grandes quantités d'engrais verts dans le sol. En Arizona et dans d'autres régions cotonnières la grave maladie de la pourriture de la racine du coton (*Phymatotrichum omnivorum*) a été combattue avec succès en enfouissant de grandes quantités de foin ou d'autres engrais organiques dans des sillons profonds. Des chercheurs canadiens ont pu combattre la pourriture de la racine du fraisier et la gale de la pomme de terre en enfouissant une récolte de soja. La base scientifique de ces moyens de lutte réside en une modification de la microflore du sol et dans la stimulation d'activités microbiennes antagonistes de certains parasites. En incorporant dans le sol des déchets animaux ou végétaux, on introduit de nouveaux types de microorganismes, particulièrement des saprophytes qui vivent seulement sur les matières mortes. Ceux-ci peuvent d'ailleurs être déjà présents dans le sol, spécialement sous forme de spores non germées; l'addition de nourriture stimule alors leur développement et leur activité antagoniste.

Les savants canadiens recherchant des moyens de lutte contre la pourriture de la racine du fraisier et la gale de la pomme de terre ont essayé plusieurs engrais organiques tels le trèfle rouge, le ray-grass et le soja. Les deux premiers réalisent bien un déplacement de l'équilibre microbien, mais seul le soja arrête la maladie. On obtient des résultats identiques en employant du glucose ou d'autres sources efficaces d'hydrates de carbone. On peut donc conclure que le type de décomposition, dans ce cas la dégradation des hydrates de carbone, est un facteur important. On peut éliminer le parasite *Ophiobolus graminis*, responsable d'une maladie des céréales, appelée piétin, en utilisant des engrais organiques à haute teneur en carbone mais faible teneur en azote. Il ne faut donc pas se contenter d'employer une matière organique quelconque; le choix d'un matériel approprié est essentiel.

Dans les mécanismes de l'antagonisme microbien on peut distinguer un grand nombre de facteurs tels que la compétition pour la nourriture, l'oxygène et l'eau, un excès de gaz carbonique ou la formation de toxines. La question qui se pose maintenant est de savoir si de telles toxines sont des substances antibiotiques et s'il y a une corrélation entre les engrais organiques d'une part et la formation d'antibiotiques de l'autre.

LES ANTIBIOTIQUES DANS LE SOL

La plupart des microorganismes qui produisent des antibiotiques sur les milieux usuels de laboratoire ont été isolés à partir du sol. On peut donc regarder celui-ci comme leur habitat naturel, mais il ne s'ensuit pas nécessairement que les antibiotiques qui leur sont associés puissent se former dans un milieu aussi pauvre qui celui fourni par le sol. On a suggéré que les engrais organiques pouvaient, par apport de nouvelles substances nutritives, induire la formation d'antibiotiques directement dans le sol. Des expériences poursuivies en Angleterre ont montré que certains

saprophytes, connus pour produire des antibiotiques sur les milieux de laboratoire, forment un facteur inhibiteur quand on les cultive sur des matériaux souvent employés en agriculture comme engrais, tels la paille, les fougères et les herbes. On peut penser que les engrais organiques non seulement modifient la microflore mais encore stimulent la formation d'antibiotiques dans le sol. Cette hypothèse est étayée par les résultats d'expériences déjà commencées. On a pu démontrer l'activité antibiotique, contre des agents pathogènes de végétaux tels que *Phytophthora parasitica* (mildiou), *Thialviopsis basicola* (pourriture de la racine du tabac) et *Bacterium carotovorum*, de solutions préparées par centrifugation à partir de sols stérilisés soit partiellement soit complètement et ensemencés avec un ou plusieurs champignons produisant des antibiotiques sur les milieux standards de laboratoire. Cependant cet effet dépend de la présence d'une source additionnelle d'hydrates de carbone dans le sol. On peut donc considérer que, sauf des hydrates de carbone qui peuvent être fournis par des engrais, le sol est un milieu favorable à la production d'antibiotiques, au moins pour certains champignons. La part que les antibiotiques peuvent jouer dans l'antagonisme microbien dépend aussi du temps pendant lequel l'antibiotique reste actif dans le sol. On a montré que certains antibiotiques, spécialement ceux de nature basique sont adsorbés par les colloïdes; cependant, en Angleterre, des chercheurs ont apporté la preuve de la persistance de certains antibiotiques dans le sol et aussi d'un maintien plus long de leur activité dans les sols de même type que ceux à partir desquels s'était fait, à l'origine, l'isolement des champignons. Il n'existe encore aucune publication établissant l'identification chimique d'un extrait de sol avec un antibiotique connu et pourtant il y a tout lieu de croire à la présence d'antibiotiques dans certains sols ou tout au moins au fait qu'on puisse induire leur formation par ensemencement avec des antagonistes spécifiques et enrichissement simultané en nourriture. Il est assez significatif que les besoins essentiels de la lutte contre certains germes pathogènes contenus dans le sol soient semblables à ceux de la production contrôlée d'antibiotiques dans le sol, à savoir: présence de matériaux à haute teneur en carbone et faible teneur en azote. On a de plus démontré grâce à des méthodes d'extraction très sensibles que les extraits de sols naturels non ensemencés avec des organismes spécifiques, mais traités par le glucose ou un glucide similaire, manifestent une activité antibiotique.

Beaucoup de publications signalent la suppression de certains agents pathogènes par ensemencement des sols avec des cultures antagonistes sans addition d'aucune substance nutritive. On a commencé des travaux de ce genre en cherchant des moyens de lutte contre *Rhizoctonia solani* qui cause une maladie des plants de citronnier: on ensemence le sol avec *Trichoderma* spp. et on l'acidifie. De même on peut lutter contre le piétin en ajoutant des antagonistes au sol. Des traitements semblables se font en Russie pour les maladies des céréales, aux Indes pour la flétrissure du coton et en France pour la flétrissure du melon et la sclérotiniose du tournesol.

Les traits principaux de tous ces résultats résident surtout dans le fait que la lutte est très efficace en sol stérilisé mais beaucoup moins, ou même pas du tout, en sol non stérile. En général, les résultats satisfaisants obtenus dans la lutte contre les agents pathogènes sont dus à l'emploi d'engrais organiques associé à l'introduction d'organismes antagonistes, spécialement dans les sols non stériles. La nature de l'engrais doit être adaptée non seulement aux besoins de l'organisme antagoniste mais aussi à ceux de la récolte elle-même.

BIBLIOGRAPHIE

ARK, P. A. «Streptomycin», édité par S. A. Waksman. Baillière, Tindall and Cox. Londres. 1949.

BROWN, J. G., et BOYLE, ALICE M. *Phytopathology*, **35**, 521, 1945.

Id. Proc. 7th Int. Bot. Congr., 1950. (sous presse.)

BRIAN, P. W. *et al. Ann. appl. Biol.*, **32**, 214, 1945.

Id. Nature, **167**, 347, 1951.

GARRETT, S. D. *Ann. appl. Biol.*, **25**, 742, 1938.

GROSSBARD, ERNA. *Nature*, **161**, 614, 1948.

Id. Proc. 7th Int. Bot. Congr., 1950. (Sous presse.)

Id. Rep. Exp. Res. Sta. Cheshunt, 1946–1949.

LEBEN, C., et KEITH, G. W. *Phytopathology*, **39**, 529, 1949.

NANDI, P. N., et JACOBS, S. E. Thèse «The Influence of Antibiotics on Micro-organisms in Soil». University of London. 1948.

ROUATT, J. W., et ATKINSON, R. G. *Canad. J. Res.* (*C*), **28**, 140, 1950.

WOOD, R. K. S. *Ann. appl. Biol.*, **38**, 271, 1951.

BRIAN, P. W. *Chem. and Ind.*, **68**, 391, 1949.

GARRETT, S. D. *Biol. Rev.*, **25**, 220, 1950.

LOCHHEAD, A. G., et LANDERKIN, G. B. *Plant and Soil*, **1**, 271, 1949.

DARPOUX, H., et FAIVRE-AMIOT, A. *Rev. Path. vég.* **29**, 102, 1950.

L'eau dans l'architecture des plantes

T. A. BENNET-CLARK

Description des méthodes mécanique et plasmolytique de mesure de la pression hydrostatique interne des cellules végétales: étude de la différence entre les valeurs de la p.h. dans la cellule et celle de la pression osmotique du jus exprimé. Aperçu des études récentes sur le mécanisme de l'absorption des corps dissous contre un gradient de concentration et sur le maintien de la pression hydrostatique.

Du point de vue de son importance structurale, l'eau d'une plante peut être comparée à l'air comprimé d'un pneumatique. A l'intérieur des cellules de la plupart des plantes, l'eau structurale est en effet comprimée à des pressions étonnamment élevées. L'analogie avec les pneumatiques est très étroite, car dans les deux cas, la rigidité de la structure est déterminée à la fois par l'élasticité de l'enveloppe et la surpression des contenus fluides.

La découverte de la structure et du fonctionnement de cet élément de construction de la plante a été faite très lentement. Robert Hooke observa la subdivision du corps de la plante en compartiments qu'il appela cellules, mais c'est seulement Moldenhawer au début du XIXe siècle qui grâce à la technique de macération prouva clairement que la plante était formée d'une masse de cellules semblables. Ces groupes de cellules ont été appelés tissus par Nehemiah Grew dans son grand traité d'anatomie végétale, et ce terme, d'un usage courant aujourd'hui dans les sciences biologiques, montre bien qu'il n'avait pas reconnu l'individualité des membranes cellulaires mais qu'il pensait que l'architecture des cellules était entrelacée comme celle d'une dentelle.

La découverte du protoplasme ou utricule primordial touchant la membrane cellulaire marqua l'étape suivante, mais ce n'est que beaucoup plus avant dans le siècle que des conceptions claires sur l'état de l'eau, du protoplasme, et de la membrane cellulaire végétale typique, se dégagèrent.

Les travaux classiques des grands physiologistes Dutrochet, Pfeffer et de Vries, non seulement fournirent de nombreuses données sur la plante vivante, mais eurent aussi d'immenses répercussions dans le domaine de la chimie pure. Dutrochet, le premier, observa le phénomène et forgea le terme d'osmose. Les déterminations exactes faites par Pfeffer de la pression osmotique à des températures et des concentrations différentes fournirent à Van't Hoff les données sur lesquelles il développa sa théorie sur les solutions diluées; la découverte par de Vries des pressions osmotiques anormalement élevées des électrolytes contribua à mettre Arrhenius sur la voie de la conception de la dissociation ionique.

Une cellule ou un tissu qui est relativement rigide est dit turgescent. Ceux qui ont été plasmolysés sont flasques. La plasmolyse est due au passage de l'eau de la cavité centrale ou vacuole vers le milieu extérieur; celui-ci n'est pas accompagné par une sortie des substances dissoutes, qui semblent être retenues et le protoplasme, ou plutôt la membrane vacuolaire est considérée comme une membrane semi-perméable.

On s'est peu attardé sur le remarquable caractère du phénomène de plasmolyse. Il nécessite l'absence d'adhésion du protoplasme à la membrane cellulaire, ou, si la couche externe est adhérente, il semblerait qu'une couche interne concentrique se rompe facilement. Ceci, cependant, ne semble pas probable, car le protoplasme bien que détaché de la membrane reste intact.

Il est nécessaire de tenter d'évaluer clairement les valeurs des pressions hydrostatiques des contenus des cellules végétales si l'on veut connaître ce qui les produit et les maintient.

Deux sortes de méthodes peuvent être utilisées pour évaluer la pression hydrostatique (p.h.) des contenus cellulaires. Elles sont illustrées par les diagrammes de la figure 1. Les diagrammes du bas représentent une cellule vivante immergée dans des solutions de pression osmotique: 10, 0, 20 atmosphères et soumises à des pressions mécaniques de 10, puis 20 atm. On représente cette cellule qui s'est dilatée d'environ 5% en volume quand la membrane est tendue par la p.h. maximum (9,5 atm) engendrée par les contenus cellulaires lors d'une immersion à l'eau pure. Les diagrammes du haut représentent le comportement d'un cylindre à fond semi-perméable, qui s'allonge un peu quand la pression interne pousse

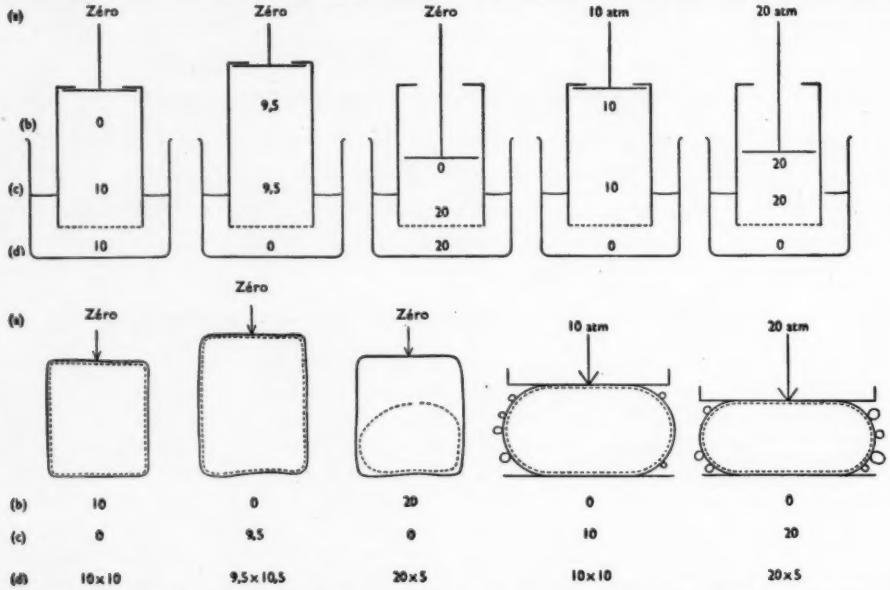


FIGURE 1 – (*En haut*) *Cylindres à fonds semi-perméables contenant des solutions dont les pressions osmotiques sont indiquées, immergés dans d'autres solutions. Les chiffres indiquent* (a) *pression appliquée en plus de la pression atmosphérique,* (b) *excès de la pression hydrostatique interne,* (c) *pression osmotique interne,* (d) *pression osmotique externe.* (*En bas*) *Une cellule végétale traitée de la même manière que le cylindre représenté immédiatement au-dessus. Les chiffres indiquent* (a) *l'excès de pression appliquée,* (b) *la pression osmotique externe,* (c) *la réaction de la membrane qui équilibre l'excès de pression hydrostatique interne,* (d) *la pression osmotique interne multipliée par le volume vacuolaire. Noter que ce traitement provoque l'exsudation de gouttes d'eau à partir de la vacuole.*

le piston contre l'anneau d'arrêt du sommet du cylindre. Le cylindre non allongé est supposé être complètement rempli d'une solution de pression osmotique égale à 10 atm (la substance en solution ne pouvant pas traverser la membrane semi-perméable).

Le cylindre est figuré immergé dans des solutions de p.o. égale à 10, 0, 20 atm et avec des pressions de 0, 10 et 20 atm appliquées sur le piston. La courbe de la figure 2 montre la relation qui existe entre les pressions appliquées sur le piston portées en abscisses et le pourcentage d'eau exprimée, en ordonnées. Le cylindre et la membrane cellulaire sont représentés avec un volume supérieur de 5% à leur volume normal quand leur pression hydrostatique interne égale 9,5 atm. Le graphique montre alors qu'environ 5% de l'eau interne est exprimée par une pression mécanique de 10 atm. Une pression plus forte pousse le piston à l'intérieur du cylindre, en exprimant des volumes d'eau indiqués par le graphique.

Si l'on admet que PV = Constante, à partir de ces données graphiques on peut obtenir la p.h. initiale des contenus du cylindre ou de la cellule. L'extrapolation de la courbe *AB* au zéro des ordonnées donne la p.h. au moment où le piston est juste contre l'anneau d'arrêt. L'ordonnée de *B* est une estimation de l'extensibilité du cylindre. Si l'extensibilité du cylindre ou de la cellule est très petite, en d'autres termes si les points *B* et *C* coïncident presque, l'abscisse *DC* est une mesure directe de la p.h. des contenus.

La figure 3 montre la relation qui existe entre le volume d'eau exprimée et la pression mécanique appliquée, dans le cas des feuilles de hêtre, où *B* et *C* coïncident. Cette coïncidence n'est pas invariable, mais elle est fréquente dans les feuilles minces. On peut aussi déterminer la p.o. externe juste nécessaire pour que le protoplasme se contracte à l'intérieur de la cellule. Théoriquement cette pression est celle indiquée par l'abscisse de *C* dans la figure 2. C'est ce que l'on vérifie, dans les limites des erreurs d'expérience qui sont considérables [1].

L'on peut donc accorder quelque confiance aux déterminations des p.h. des contenus cellulaires dans de nombreux cas où l'on a pu utiliser soit la méthode des pressions mécaniques directes soit la méthode plasmolytique. Cette méthode plasmolytique fut utilisée par de Vries dès 1880, mais

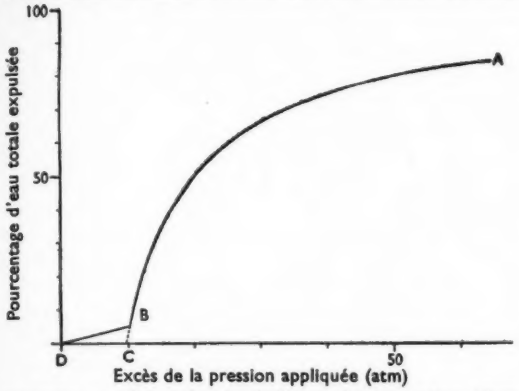


FIGURE 2 – *Les ordonnées indiquent le pourcentage d'eau totale expulsée des cylindres ou des cellules analogues à ceux de la figure 1 par les pressions appliquées portées en abscisses.*

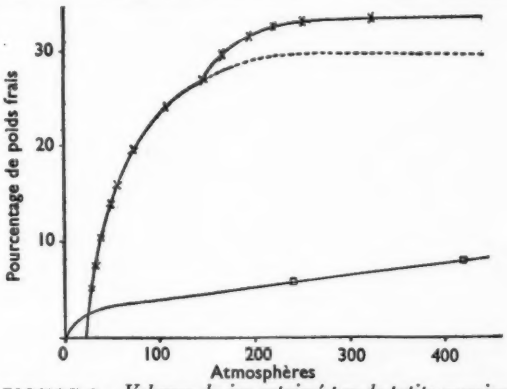


FIGURE 3 – *Volumes du jus exprimé par de petits accroissements de pression à partir de feuilles de* Fagus sylvatica; *feuilles vivantes —x—; résidu mort de feuilles vivantes entièrement comprimées —□—.* (*Aimablement communiqués par* The New Phytologist.)

un travail récent a montré qu'il existait une différence très grande entre les valeurs de la p.h. interne données par la méthode plasmolytique et celles données par la mesure de la pression osmotique du jus exprimé. Comme cette dernière se trouve être plus souvent beaucoup plus faible, la signification réelle de la valeur plasmolytique est naturellement remise en question.

La concordance entre la pression hydrostatique déterminée mécaniquement et celle trouvée par plasmolyse est alors significative. On pensait que la pression hydrostatique était produite dans les cellules comme dans les cylindres modèles de la figure 1 par la différence d'activité de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur. Bien que ce soit encore l'opinion de nombreux chercheurs, il n'est pas du tout certain qu'elle soit entièrement correcte.

Une des conséquences des hautes pressions régnant dans les cellules végétales, qui semble avoir peu attiré l'attention des premiers chercheurs, est qu'elles donnent lieu de croire que le protoplasme vivant travaille en pompant les matériaux à l'intérieur de la cellule pour produire l'excès de pression hydrostatique d'abord et ensuite la maintenir.

Le problème réel de l'architecture des plantes est de savoir comment ce travail se fait et quelle fraction de l'énergie libérée par la respiration est ainsi utilisée.

Si l'on ne considère que le phénomène d'osmose, on peut soutenir l'hypothèse que le seul mécanisme est une accumulation d'électrolytes et de non-électrolytes à l'intérieur des vacuoles cellulaires contre un gradient de concentration. C'est ce que pensent de nombreux chercheurs. Les exemples les plus frappants se trouvent dans le cas des électrolytes dont la pénétration s'observe même quand la concentration interne du corps dissous est 400 fois plus grande que la concentration externe.

Ceci entraînerait manifestement une plus faible activité de l'eau à l'intérieur qu'à l'extérieur, s'il n'y avait pas un afflux simultané d'eau provoquant une élévation de la pression hydrostatique. Le système envisagé est réellement un équilibre dynamique dans lequel (*a*) toute fuite de corps dissous de la solution interne est compensée par une sécrétion active, et (*b*) un excès de pression hydrostatique égal à la pression osmotique de la solution interne se produit entraînant ainsi l'activité ou potentiel chimique de l'eau à s'équilibrer des deux côtés de la membrane cellulaire.

Le point important à élucider est le mécanisme du prélèvement ou de la sécrétion du corps dissous contre un gradient de concentration. Durant ces dernières années, un grand nombre de recherches probantes ont été faites. On a démontré que le prélèvement était étroitement lié à une respiration aérobie (Steward, Hoagland et autres). On a démontré que le prélèvement de sels est associé à un accroissement de l'intensité respiratoire par rapport à la respiration de base. Cette extra-respiration due à l'absorption de sels est sensible au cyanure, aussi pense-t-on qu'elle est liée à un système de cytochromes.

Encore plus récemment, Robertson et ses collaborateurs ont découvert qu'une relation stœchiométrique existe entre la respiration due à l'absorption de sels et cette absorption elle-même quand la concentration externe des sels est suffisamment élevée pour ne pas limiter la vitesse de ce dernier phénomène. Dans ces conditions l'absorption de 4

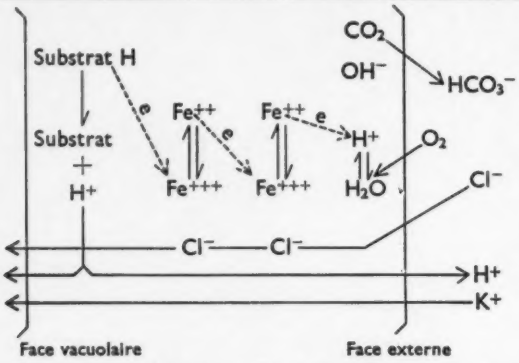


FIGURE 4 – *Schéma du transfert d'électrons par le système* $Fe^{++} : Fe^{+++}$ *(peut-être le cytochrome) couplé avec les échanges d'ions (quelque peu modifié de Robertson et Wilkins* [6], *Crane* et al. [2], *et Lundegårdh* [4]).

anions est associée à la consommation d'une molécule d'oxygène.

Des articles récents mettent en évidence l'importance de cette découverte en la rapprochant d'un récent travail sur le mécanisme de la sécrétion de l'acide chlorhydrique par la muqueuse gastrique et des suggestions de Lundegårdh sur le mécanisme de l'absorption des sels.

Les résultats obtenus par Rehm [5], Crane, Davies et Longmuir [2] et autres sont d'une importance fondamentale. Ces auteurs ont en effet montré que la composition ionique des phases des deux côtés de certaines membranes sécrétrices isolées, telles la muqueuse gastrique de la grenouille, a peu d'influence sur la différence de potentiel entre ses deux faces. Korr [3] a déjà montré que le potentiel d'oxydo-réduction du système:

$$\text{Hg HgCl} \,\Big|\, \text{KCl} \,\Big|\, \begin{matrix}Fe^{++}> \\ Fe^{+++}\end{matrix} \,\Big|\, \text{Métal} \,\Big|\, \begin{matrix}Fe^{++}< \\ Fe^{+++}\end{matrix} \,\Big|\, \text{KCl} \,\Big|\, \text{HgCl Hg}$$

$$\xrightarrow[e]{}$$

peut se mesurer en plaçant une membrane métallique (transportant les électrons) entre les deux systèmes rédox comme ci-dessus.

Lundegårdh a suggéré qu'une couche de transfert des électrons, consistant en un complexe oxydasique, pouvait constituer un mécanisme d'absorption d'anions, bien qu'il soit très difficile de donner une base expérimentale directe à cette hypothèse. Crane *et al.* [2] et Robertson et Wilkins [6] ont développé cette hypothèse et suggéré un schéma analogue à celui de la figure 4.

Dans le comportement de la muqueuse gastrique, il est intéressant de noter que le début de la sécrétion est associé à une baisse de la différence de potentiel entre les faces sécrétrice et nourricière de la membrane. Le fait que la différence de potentiel de la membrane est indépendante du *p*H et des autres différences de concentrations ioniques suggère que cette différence de potentiel est due à des différences de potentiel d'oxydo-réduction entre les deux faces de la membrane et qu'il existe un mécanisme de transfert d'électrons, en bref, que la membrane se conduit comme un semi-conducteur.

Dans une cellule de taille normale d'un parenchyme végétal, la forte pression hydrostatique interne rend très difficile le problème de la détermination de la différence de potentiel entre la vacuole et le milieu extérieur. Cependant, les tissus immergés dans un milieu tel que l'eau distillée et ne recevant aucun apport externe d'ions montrent une différence très marquée entre les pressions déterminées par plasmolyse ou par cryoscopie, ce qui suggère qu'une sécrétion active d'eau a lieu. Dans ce cas d'absence de sécrétion saline, par analogie avec le comportement de la muqueuse, on peut s'attendre à trouver une plus grande différence de potentiel entre les deux faces de la membrane cellulaire et donc à constater un accroissement du flux d'eau vers l'intérieur ou le maintien d'un excès de «pression active» par osmose électrique.

Bien qu'on ne puisse encore affirmer que l'eau soit activement sécrétée par osmose électrique comme on l'a déjà suggéré ou par tout autre mécanisme, il n'y a pas de doute que les excès importants des pressions hydrostatiques des cellules végétales sont provoqués et ensuite maintenus par des processus de sécrétion active soit de corps dissous soit, moins certainement, d'eau.

Toute atteinte aux processus normaux de respiration est accompagnée d'une diffusion vers l'extérieur des corps dissous et d'une réduction de l'excès de pression hydrostatique dont dépendent la résistance mécanique et la rigidité des tissus.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BENNET-CLARK, T. A., et BEXON, D., *New Phytol.*, **39**, 337, 1940.

[2] CRANE, E. E., DAVIES, R. E., et LONGMUIR, N. M. *Biochem. J.*, **43**, 321, 336, 1948.

[3] KORR, I. M. *Cold Spr. Harb. Sym. Quan. Biol.*, **7**, 74, 1939.

[4] LUNDEGÅRDH, H. *Ark. Bot.*, **32**, 1, 1945.

[5] REHM, W. S. *Amer. J. Physiol.*, **147**, 69, 1946.

[6] ROBERTSON, R. N., et WILKINS, M. J. *Aust. J. Sci. Res., B.*, **1**, 77, 1948.

La gazéification souterraine du charbon

H. ROXBEE COX

Bref aperçu d'expériences effectuées en Grande-Bretagne par chauffage dans la veine d'un charbon de qualité inférieure, produisant un gaz de faible valeur calorifique qui peut être utilisé comme gaz moteur. Description de diverses méthodes de forage.

La gazéification souterraine du charbon est un sujet sur lequel il existe une documentation abondante [1], surtout en Russie où de grands progrès auraient été réalisés. Des travaux ont aussi été entrepris dans d'autres parties du monde, et les résultats obtenus hors de Grande-Bretagne ont été publiés [2–8]. Nous y ferons brièvement allusion, mais l'objet principal de cette note est de donner un aperçu des travaux récemment effectués en Angleterre: écrite par quelqu'un dont la mission fut d'amorcer les expériences en cours, elle pourrait servir de courte introduction aux rapports ultérieurs de ceux qui les ont effectuées sur place.

La gazéification souterraine, en quelques mots, revient à chauffer le charbon dans le gisement même de telle sorte que le gaz produit puisse être ramené à la surface pour la consommation immédiate. Cette opération peut se faire de plusieurs manières et la méthode à employer à un endroit donné dépendra toujours dans une large mesure des conditions locales. Le plus simple, pour se représenter le procédé, est sans doute de considérer d'abord un système élémentaire. Dans le schéma de la figure 1 on voit que deux puits ont été forés verticalement jusqu'à la mine et qu'ils sont reliés à la base par un conduit à peu près horizontal traversant la veine de charbon. Tant que le feu brûle on peut s'attendre à ce que du gaz chaud s'échappe de l'autre cheminée verticale.

En pratique, on allume un petit foyer dans une partie limitée du charbon et l'on tâche de s'arranger pour que les gaz produits soient assez chauds pour entretenir la gazéification continue du restant du charbon mais qu'ils ne contiennent pas assez d'oxygène cependant pour permettre la combustion complète. Il est donc clair que l'apport d'air doit être réglé convenablement si l'on veut que le gaz émis à la surface ait une valeur calorifique en plus de sa chaleur réelle; si l'on fournit trop d'air le charbon brûlera complètement sous terre et bien que l'on obtienne alors du gaz de fumée dont la chaleur pourra être mise à profit, ce gaz est généralement moins pratique à employer qu'un gaz qu'on peut brûler.

On peut aménager une installation comme celle de la figure 1 en creusant sous terre, mais il existe parfois d'autres solutions. Lorsque la disposition du terrain et la direction de la veine le permettent, on peut forer les puits verticaux en terrain surélevé et les relier horizontalement en forant depuis une surface externe (figure 2). Alternativement, si le charbon est au voisinage d'une mine désaffectée, on peut forer horizontalement a partir d'un puits abandonné (figure 3).

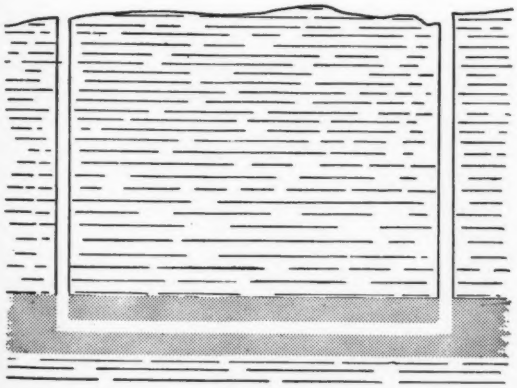


FIGURE 1

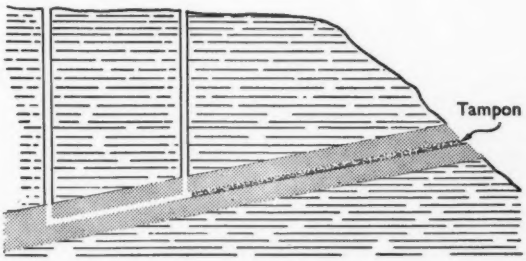


FIGURE 2

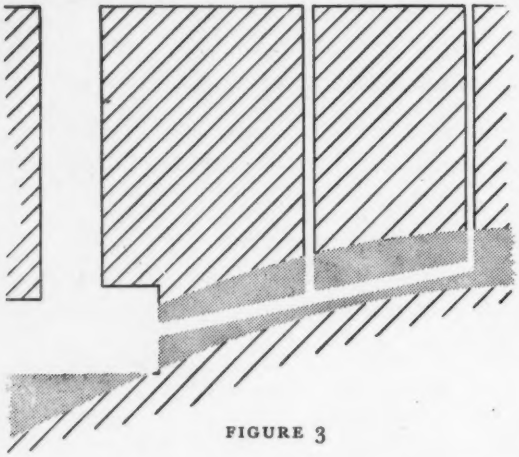


FIGURE 3

On peut aisément concevoir une installation importante groupant une série d'unités du type représenté dans la figure 1: tous les puits de retour seraient reliés et le gaz moteur obtenu alimenterait une centrale électrique. J'emploie à dessein l'expression «gaz moteur» car il est très douteux que le gaz ait une valeur calorifique suffisante pour l'usage domestique.

Dans les descriptions simplifiées que nous venons de donner il est sous-entendu que la veine de charbon est plus ou moins horizontale; lorsqu'elle est en pente très raide on peut à son gré employer un autre système. La figure 4 représente une partie d'une veine de ce genre: les deux puits verticaux forés depuis la surface se trouvent entièrement dans le charbon et les fonds sont réunis comme auparavant par un conduit plus ou moins horizontal. Si l'on suppose que la gazéification a commencé dans l'un des puits, on se rendra facilement compte que toute la masse de charbon délimitée par les puits (en traits pleins dans le schéma) sera finalement gazéifiée. On obtiendrait un système plus simple encore en forant depuis la surface deux puits qui se croisent.

Les travaux d'une portée limitée en cours en Angleterre font partie d'un programme scientifique d'expériences en vue de l'exploitation optima des ressources nationales de combustibles. Il est absolument essentiel d'utiliser les réserves de charbon de la façon la plus économique et la plus rationnelle. Il faut entendre par là, d'une part, que nous devons brûler le charbon aussi efficacement que possible, et de l'autre, que nous devons recourir à des sources d'énergie encore inexploitées. Il y a en Grande-Bretagne beaucoup de charbon si médiocre qu'il ne vaut pas la peine d'être exploité: autrement dit, le prix qu'on en tirerait ne justifie pas son extraction. Il saute aux yeux qu'on aurait le plus grand intérêt à retirer l'énergie de ce charbon *in situ*.

D'autre part, au voisinage des mines désaffectées il reste du charbon qui peut être de bonne qualité, mais dont l'extraction ne paie pas, pour bien des raisons, par exemple l'étroitesse de la veine dans laquelle il se trouve. La gazéification de ce charbon constituerait une source utile d'énergie.

Pour finir il y a du charbon enfoui si profondément sous terre que la dépense à faire pour l'atteindre et pour surmonter les difficultés de travail aux températures qui règnent à mille mètres de profondeur rendent son extraction très onéreuse. On pourra peut-être l'exploiter un jour par des méthodes de gazéification souterraine, mais à l'heure actuelle cette possibilité ne présente qu'un intérêt purement académique et elle comporte d'énormes problèmes techniques qu'il faudra résoudre si jamais on veut en faire une réalité.

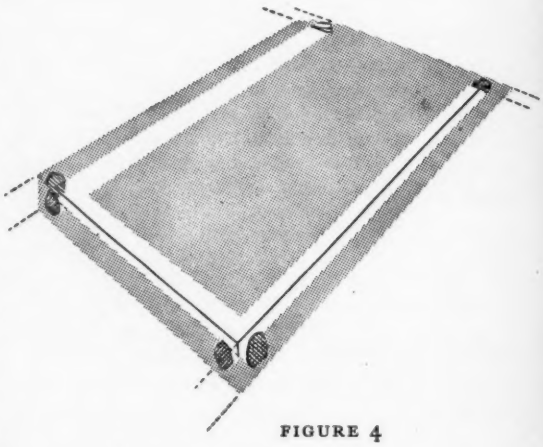


FIGURE 4

On ne peut s'empêcher de penser que, si la gazéification souterraine du charbon pauvre ou des veines étroites est avantageuse du point de vue économique, celle de bon charbon dans des veines riches le serait encore plus, mais on a encore tout le temps d'y penser. A l'heure actuelle on a besoin de plus de charbon qu'on ne peut en extraire; d'autre part, la gazéification souterraine a encore bien des progrès à faire avant d'être sérieusement considérée comme substitut aux méthodes classiques d'extraction. En Angleterre, du moins, on doit d'abord gazéifier du charbon qui n'aurait autrement aucune valeur. Lorsque les problèmes techniques seront résolus, il sera bien

FIG
tra
zon
ver
dro

FI
se
es
so
l'a

FIGURE 5 – *Photographie montrant le forage d'un conduit horizontal destiné à relier les deux puits verticaux forés en terrain élevé (à droite).*

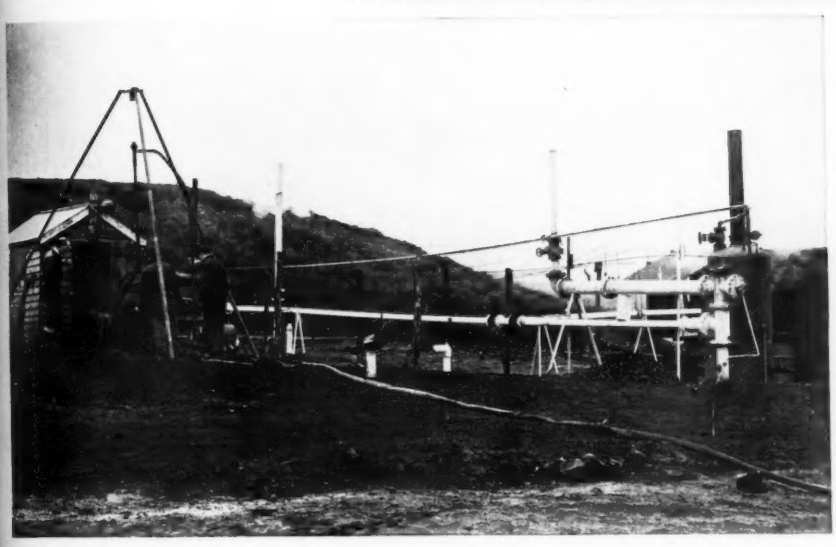


FIGURE 6 – *Appareil destiné au premier essai de gazéification souterraine commencé en juillet 1950. L'air comprimé est introduit dans le conduit horizontal par la soupape de distribution près du centre de la photographie. Il peut ensuite être dirigé à gauche ou à droite suivant les besoins, permettant ainsi d'inverser à loisir le courant d'air dans l'installation souterraine. Le tube horizontal plus gros et plus court est relié à un compteur qui mesure le débit. Il y a un écartement de 15 m entre les deux puits verticaux.*

FIGURE 7 – *Photographie d'un second système: le forage horizontal est relié aux puits verticaux, qui sont à 23 m de distance l'un de l'autre.*

(*Figures 5–7, Tous droits réservés.*)

temps de voir si la gazéification souterraine convient mieux pour la production d'énergie que l'extraction classique.

On peut classer les méthodes de gazéification souterraine de diverses manières. Le plus simple est de distinguer les méthodes où l'on doit travailler sous terre pour faire l'installation et celles où tout le travail se fait à la surface. On emploie la première méthode dans presque toute la gazéification souterraine en Russie et dans les expériences en cours aux Etats-Unis, en Belgique, au Maroc français et en Italie. Il y a lieu de croire cependant que la seconde méthode, dite de percolation, a été essayée en Russie; les estimations récentes effectuées en Angleterre indiquent que si on arrivait à la mettre au point elle serait plus intéressante du point de vue économique que la méthode basée sur des forages souterrains directs. C'est pour ce motif que les chercheurs britanniques se sont assigné comme premier objectif la mise au point de la méthode de percolation.

Le problème pratique de la gazéification comprend deux aspects distincts lorsqu'on effectue les forages à la surface: d'une part, on doit trouver un procédé satisfaisant et d'application générale pour relier les fonds des puits verticaux, de l'autre, on doit étudier les procédés de gazéification et examiner la qualité du produit.

A l'endroit choisi pour les travaux préliminaires en Grande-Bretagne, à Newman Spinney, près de Chesterfield, on s'est d'abord attaqué à la gazéification proprement dite. Le système adopté correspond à celui de la figure 1; la gazéification souterraine est amorcée par un forage horizontal semblable à celui de la figure 2. Comme la mine de Newman Spinney est à ciel ouvert les puits verticaux ont été forés d'un endroit élevé, tandis que le conduit horizontal a été percé dans la muraille à peu près verticale résultant de l'exploitation ordinaire. La nécessité d'assurer la jonction entre les forages verticaux et le conduit horizontal soulève des problèmes très intéressants liés au choix de l'emplacement. Ces questions seront développées dans un prochain mémoire.

De premiers essais de courte durée, en avril 1950, n'eurent qu'un succès limité mais ils permirent d'acquérir une expérience précieuse et c'est avec un certain optimisme qu'un essai prolongé fut entrepris le 13 juillet; au moment où nous écrivons, plusieurs mois plus tard, il est toujours en cours. La veine traitée est la plus pauvre qu'il soit et n'aurait jamais été exploitée; elle est humide et les couches mi-charbon mi-impuretés se trouvent entre des couches de schiste. La valeur calorifique du gaz produit a été très inégale. Récemment elle arrivait à peine à 89 kcal/m³; à d'autres moments elle a atteint des pointes inattendues plutôt difficiles à interpréter allant jusqu'à 4430 kcal/m³. La valeur calorifique moyenne pour les 10 premières semaines est d'environ 720 kcal/m³, mais elle a baissé depuis et pour la période entière jusqu'à présent elle ne dépasse pas 450 kcal/m³. La composition du gaz est très variable comme on le verra par l'analyse des échantillons:

1950	CO_2	O_2	CO	CH_4	C_nH_m	H_2	N_2	Val. cal. (kcal/m³)
	Pourcentage (volume)							
23 août	13,4	0,1	11,2	1,3	0,2	10,8	63,0	775
11 septembre	15,5	—	4,9	1,0	—	7,9	70,7	454
21 octobre	10,2	9,5	1,0	0,9	—	1,1	77,3	143

Bien qu'il n'y ait pas d'inconvénient, dans certains cas, à employer la méthode de forage horizontal pour joindre les deux puits verticaux, ce n'est pas la méthode d'application générale que nous recherchons dans la seconde partie de nos travaux. Certes, on a envisagé l'emploi d'une sorte de taupe mécanique qui, progressant d'abord verticalement vers le bas, pourrait forer à peu près horizontalement. Cette méthode a été employée avec quelque succès pour le forage des puits de pétrole, mais les difficultés inhérentes à cette solution du problème sont telles qu'on l'a abandonnée pour l'instant: on préfère étudier des procédés basés sur les fortes pressions. En principe, on essaie d'ouvrir les fissures naturelles du charbon ou de soulever les terrains de recouvrement au moyen d'une forte pression pneumatique, hydraulique ou explosive, et de créer ainsi un passage pour le gaz entre les forages verticaux. Des premières expériences à l'air comprimé il résulte qu'en exerçant une pression égale à celle qui règne sur la veine de charbon on dégage bien les voies naturelles. 20% de l'air pompé dans un puits vertical à la pression de 7 kg/cm² ressortit par un autre puits 10 m plus loin. Des expériences de ce genre sont encore en cours: on a percé des tunnels beaucoup plus longs et l'on est récemment parvenu à faire l'allumage sous pression.

La valeur calorifique moyenne des produits de gazéification souterraine en Angleterre ne dépassera sans doute pas le 1/5e de celle du gaz de ville ordinaire, et ils ne le remplaceront donc pas pour l'usage domestique. Le gaz souterrain n'aurait d'avenir que comme combustible pour le chauffage des chaudières de machines à vapeur ou pour alimenter les turbines des génératrices. La faible valeur calorifique du gaz ne gêne en rien, puisque la turbine à gaz fonctionne fort bien avec du gaz dilué. L'expérience de Newman Spinney n'a qu'une portée très limitée, les puits verticaux n'ayant que 10 cm de diamètre et la consommation de charbon ne dépassant pas 1½ tonne par jour.

Il n'y a pas de projet actuellement pour relier une turbine à une installation de gazéification souterraine. Il sera temps d'y penser lorsque les problèmes essentiels de la gazéification seront mieux compris. Si la gazéification souterraine entraîne des problèmes particuliers dans le cas des turbines à gaz, ils restent encore à découvrir.

L'alimentation d'une turbine à gaz doit être assez régulière et la qualité du gaz doit être aussi constante que possible. Les fluctuations observées dans la première installation de Newman Spinney seraient gênantes, mais il est clair qu'on pourrait facilement les niveler en alimentant une centrale au moyen d'une canalisation unique dans laquelle on injecterait le gaz de plusieurs de ces unités. On n'est pas encore très sûr d'avoir trouvé le meilleur moyen de constituer un réseau de ce genre, car divers arrangements géométriques sont possibles.

Mais, d'une manière générale, notre vision du futur, qui deviendra de plus en plus précise et pratique si notre programme initial réussit, comporte une zone de charbon inutilisable jusqu'à présent qui serait exploitée au moyen d'une série de petits forages; les gaz de combustion alimenteraient des turbines et le courant produit serait fourni au réseau.

Pour conclure, il y a deux points qu'il est peut-être bon de souligner. D'abord, même si les problèmes techniques sont tout-à-fait résolus, il se peut que la réalisation de notre projet n'ait qu'une portée limitée en Angleterre. Sans doute, il y a des millions de tonnes de charbon qui ne seront jamais exploitées de la manière ordinaire, mais la densité de la population est si forte que les régions propres à la gazéification souterraine ne peuvent être très nombreuses; il y aurait peut-être plus d'avenir dans d'autres parties du monde.

L'autre point, c'est que nous ne sommes encore qu'au début d'un programme expérimental restreint, et que nous devons pas nourrir trop d'espoir en nous basant sur un succès initial indubitable.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Booth, N., et Jolley, L. J. *Fuel*, **21**, 31, 1945.

[2] Fies, M. H., et Schroeder, W. C. *Mech. Engng. N.Y.*, **70**, 127, 1948.

[3] Doumenc, P. *U.N. Sci. Conf. Conserv. Utilis. Res.* (*N.Y.*, 1949) *Paper, Fuels*, 6a/3.

[4] Fies, M. H. et Elder, J. L. *Ibid.*, 6a/2.

[5] Mezzetti, A. *Riv. Combust.*, **2**, 133, 1948.

[6] Pani, P., Bonetti, A., et d'Alessandro, A. *Ibid.*, **2**, 142, 1948.

[7] Fies, M. H. *et al.* U.S. Bureau of Mines and Alabama Power Co., 1950.

[8] Doumenc, R. A. M. *Fourth Wld Pwr Conf.* (*Lond.*, 1950). *Sect. D2, Pap.* 3.

Les acides végétaux chez les plantes supérieures

MEIRION THOMAS

Tableau des acidités de certains organes végétaux et liste d'acides di- et tricarboxyliques fréquemment rencontrés chez les plantes. Métabolisme acide et fluctuations diurnes et saisonnières des acidités. Influence de la lumière et de l'obscurité.

La saveur acide d'un organe végétal tient à l'accumulation, jusqu'à une concentration notable, d'un ou plusieurs acides, di- ou tricarboxyliques. L'acidité titrable de la sève sera élevée et son *p*H relativement bas, par suite de la présence d'acides libres et de leurs sels acides. On donne dans le tableau 1, l'acidité, exprimée soit en normalité, soit au moyen du *p*H, de la sève exprimée de certains des organes représentés sur la figure 3. (J. M. A. Brown, à King's College, Newcastle upon Tyne, Septembre 1950.)

TABLEAU I

Organe d'où la sève a été exprimée	*Normalité de la sève*	p*H de la sève*
Citron	0,95	2,4
Mûres rouges sombres	0,23	2,7
Pétioles de rhubarbe	0,22	3,2
Raisins verts	0,21	3,0
Feuilles d'*Oxalis*	0,16	2,3
Pomme verte à cuire	0,13	3,2
Feuilles de *Bégonia* (*Rex*)	0,11	2,2
Feuilles de *Bégonia* (*tuberosa, var.*)	0,10	2,2
Tomate mûre	0,063	4,4
Pomme Worcester Pearmain mûre	0,045	3,9
Pétioles de céleri	0,025	5,2
Racine de bette	0,025	5,8

ACIDITÉ TITRABLE

L'accumulation d'acides titrables dans le jus des citrons mûrs est remarquablement grande — bien plus grande que dans tous les autres organes examinés. Dans certains organes végétaux, il peut même y en avoir encore moins que dans les pétioles de céleri et la racine de bette; néanmoins, il est probable qu'on pourrait mettre en évidence une acidité titrable dans la sève de tous les organes végétaux, à toutes les étapes de leur développement, et sous toutes espèces de conditions extérieures.

Pour une plante déterminée, ce sont les facteurs héréditaires qui déterminent la valeur moyenne de l'acidité titrable. La pomme la plus acide ne sera jamais aussi acide que le citron le plus doux, et, parmi ces pommes, les variétés à cuire, même mûres, seront plus acides qu'une pomme de dessert comme la Worcester Pearmain.

En plus des facteurs héréditaires, pour une variété donnée, il faut tenir compte du sol et du climat. Les raisins les plus délicats, cultivés dans des conditions défavorables peuvent rester désagréablement aigres, pour avoir gardé leurs acides accumulés.

Les expériences quantitatives expriment avec précision cette constatation gustative, qu'en vieillissant, un organe végétal perd de l'acidité. Ainsi, on a montré, aux Etats-Unis, que l'acidité du jus des oranges de Valence décroissait de 0,39 N à 0,13 N quand les fruits mûrissaient.

LES DIVERS ACIDES

On donne dans la légende de la figure 3, quelques renseignements sur la répartition botanique de presque tous les acides di- ou tricarboxyliques énumérés ci-dessous.

Acide oxalique
HOOC.COOH
Acide succinique
HOOC.CH_2.CH_2.COOH
Acide fumarique
HOOC.CH = CH.COOH
Acide malique
HOOC.CH_2.CHOH.COOH
Acide oxalacétique
HOOC.CH_2.CO.COOH
Acide tartrique
HOOC.CHOH.CHOH.COOH
Acide α-cétoglutarique
HOOC.CH_2.CH_2.CO.COOH
Acide oxalosuccinique
HOOC.CH_2.CH(COOH).CO.COOH
Acide citrique
HOOC.CH_2.C(OH)(COOH).CH_2.COOH

Acide *iso*-citrique
$HOOC.CH_2.CH(COOH).CHOH.COOH$
Acide *cis*-aconitique
$HOOC.CH_2.C(COOH) = CH.COOH$
Acide tricarballylique
$HOOC.CH_2.CH(COOH).CH_2.COOH$

Ces faits sont, pour la plupart, connus depuis longtemps. Au XVIIIe siècle, Scheele avait déjà pu extraire les acides oxalique, malique, citrique et tartrique, de plantes ou de produits végétaux, et nos connaissances sur leur répartition naturelle et sur celle des autres acides de la liste (excepté l'acide *iso*-citrique), se sont accrues de façon sporadique au XIXe siècle, et au début du siècle actuel.

Fittig fit la synthèse de l'acide *iso*-citrique pour la première fois en 1889, mais ce n'est qu'en 1927 que Nelson a prouvé son existence parmi les produits naturels, en l'extrayant des mûres et en en préparant l'hydrazide. Nelson trouva que les cinq sixièmes de l'acidité des fruits était due à l'acide *iso*-citrique. Il remarqua aussi sa présence dans les feuilles. On considère maintenant qu'il joue un rôle essentiel dans le métabolisme aérobie de toutes les cellules vivantes.

Toutes les sèves végétales peuvent contenir un mélange d'acides di- et tricarboxyliques, mais un ou plusieurs peuvent prédominer. On peut facilement reconnaître la présence des acides citriques et maliques dans les oranges et les pommes, mais les autres acides s'y trouvent en quantité bien moindre. Dans les oranges, la teneur en acide citrique dépasse de beaucoup la teneur en acide malique; celui-ci prédomine dans les pommes. Ce sont là les deux acides dont on a trouvé le plus souvent une réserve considérable dans les organes végétaux comestibles. L'accumulation d'acide tartrique semble rare. Nous en savons trop peu sur l'acide *iso*-citrique pour porter une vue d'ensemble. Il s'accumule, à des concentrations élevées, dans les feuilles de *Bryophyllum* (voir ci-dessous). L'acide oxalique libre est très répandu, et atteint une concentration toxique dans certains organes (feuilles de rhubarbe).

ACIDITÉ TOTALE

Les anions des acides di- et tricarboxyliques ne s'accumulent pas seulement à l'état d'acides libres et de sels acides. Il y a aussi des sels normaux. Certains (sels de potassium et d'ammonium) sont solubles. L'un au moins (l'oxalate de calcium, très répandu), est insoluble. En plus, les acides des végétaux se combinent aux bases azotées, comme les alcaloïdes. L'acidité totale mesure la concentration en anion acide, et c'est manifestement la meilleure indication sur le rôle métabolique des acides. Dans les pétioles de rhubarbe, l'acidité totale peut atteindre le double de l'acidité titrable. Dans ces pétioles, comme dans les organes végétaux en général, la synthèse et l'accumulation des anions acides se fait progressivement avec la croissance des organes. Simultanément, les anions nitrate, sulfate, phosphate, absorbés du sol, sont utilisés dans l'anabolisme. Les cations résiduels se combinent aux anions carboxyliques. La synthèse d'acides peut donc servir à déterminer la concentration en ions hydrogène de la sève.

CONCENTRATION EN IONS HYDROGÈNE

Toutes les sèves végétales exprimées sont acides au tournesol. En général, leur *p*H est inférieur à 5,5. On a signalé cependant des valeurs relativement élevées pour la sève de certaines feuilles: figuier (6,8), épinard (6,5). Le *p*H peut tomber jusqu'à 1,5 chez *Bégonia* et *Oxalis*. Les valeurs du tableau I s'échelonnent entre 2,2 et 5,8 (voir aussi figure 1). Comme pour l'acidité titrable, ces divergences sont dues partie aux facteurs héréditaires, partie à l'âge de l'organe, partie aux conditions extérieures au cours du développement. Ainsi le *p*H du jus de citron est probablement toujours compris entre 1 et 3, celui du jus de bette entre 5 et 7. Entre ces limites, il peut y avoir beaucoup de variations. Au cours du mûrissement des oranges de Valence, le *p*H du jus est monté de 2,9 à 3,8, par suite de la disparition d'acide citrique titrable (voir page 160).

Il faut remarquer qu'il n'y a pas toujours de relation directe entre normalité et concentration en ions hydrogène dans les sèves. Ceci est dû en partie aux différences de pouvoir tampon entre les sèves, en partie aux différences entre les constantes de dissociation des acides qui s'y accumulent (voir tableau II).

TABLEAU II

Constantes de dissociation à 25°

Acide oxalique	.. $6,5 \times 10^{-2}$
Acide malique	.. 4×10^{-4}
Acide tartrique	.. $9,7 \times 10^{-4}$
Acide citrique	.. $8,7 \times 10^{-4}$

La normalité du jus de citron peut devenir presque dix fois plus grande que celle de la sève des feuilles d'*Oxalis* ou de *Bégonia*; le *p*H de ces dernières est cependant inférieur à celui du jus de citron, parce que c'est l'acide oxalique, avec une constante de dissociation relativement élevée,

qui s'y accumule de façon prépondérante, alors que, dans le cas du jus de citron, c'est un acide faible, l'acide citrique, qui est à l'origine de l'acidité titrable.

MÉTABOLISME DES ACIDES

L'accumulation ou la disparition d'un acide, pendant un certain temps, dépendra des vitesses relatives de production et de consommation métaboliques. Dans bien des organes des végétaux, en moyenne pendant la période de croissance, la vitesse de production d'un ou plusieurs acides dépasse la vitesse de disparition. Cependant, dans les fruits qui mûrissent, la consommation est d'ordinaire plus rapide que la production.

Certaines plantes se particularisent par une variation diurne de l'acidité. Il n'y a pas de raisons de croire que les mécanismes biochimiques qui règlent production et consommation d'acides dans ces plantes sont essentiellement différents de ceux qui agissent dans les autres plantes.

En effet, il est probable que le système enzymatique et la suite de transformations en jeu dans les végétaux supérieurs sont très voisins de ceux qu'ont mis en évidence ces dernières années, les brillantes recherches de Krebs, Martius et Knoop, Wood et Werkman, Ochoa et d'autres, sur des tissus animaux et des bactéries. On a établi que les cellules animales et bactériennes peuvent, au cours de leur métabolisme aérobie produire et consommer des acides di- et tricarboxyliques. En général, c'est la consommation qui est la plus rapide, et les molécules d'acides ont une vie courte. C'est pourquoi l'on n'avait pas reconnu les phénomènes de métabolisme de ces acides dans les cellules animales et bactériennes jusqu'à il y a environ quinze ans. Ce n'est que dans les plantes vertes et certaines moisissures qu'ils s'accumulent en quantité considérable. C'est pourquoi on les appelle acides végétaux. Actuellement, les études effectuées sur des tissus animaux nous ont apporté plus de renseignements biochimiques précis que celles effectuées sur des plantes.

MÉTABOLISME ACIDE DU TYPE CRASSULACÉES

On a donné, dans la légende de la figure 4, les particularités de cette forme de métabolisme. C'est Benjamin Heyne qui, le premier, a décrit le phénomène de variation diurne d'acidité. Heyne avait examiné le goût de feuilles de *Bryophyllum* aux Indes, et écrivit: «Les feuilles de *Cotyledon calycina*, plante appelée par M. Salisbury *Bryophyllum calycinum*, dont la saveur est, en général, herbacée, sont, le matin, aussi acides que l'oseille sinon plus; dans la journée, elles perdent leur acidité, n'ont plus de goût vers midi, et deviennent amères vers le soir».

Sur le tableau III et la figure 2, on voit les changements en acidité titrable, et *p*H, au cours d'une expérience effectuée sur des feuilles de plantes de *Bryophyllum* semblables à celles dont la figure 4 donne une photographie. On a diminué la température pendant la période obscure, parce qu'on sait que de basses températures peuvent favoriser l'acidification à l'obscurité. (J. M. A. Brown, Sept. 1950.)

TABLEAU III

Conditions avant l'analyse	*Normalité de la sève*	p*H de la sève (voir figure 2)*
(*a*) Illumination de 26 heures. Température ambiante	0,03	5,05
(*b*) Idem, suivi de 24 heures à l'obscurité, 10° C	0,08	4,56
(*c*) Après les stades (*a*) et (*b*) on a illuminé 5 heures. Température ambiante	0,02	5,40

Les valeurs des *p*H ont été, auparavant, déterminées potentiométriquement.

On a fait de nombreuses recherches sur l'acidification à l'obscurité et la désacidification à la lumière, dont les plus remarquables sont celles de Bennet-Clark en Angleterre, Wolf à Leipzig, et celles de Vickery, Pucher, et leurs collaborateurs à Connecticut. Vickery et ses collaborateurs ont montré que les acides principaux dans les feuilles de *Bryophyllum* sont les acides *iso*-citrique, malique et citrique. L'acide *iso*-citrique peut y atteindre une concentration élevée. En fait, on se sert parfois maintenant de *Bryophyllum* comme source de cet acide pour des expériences chimiques et biochimiques. Cependant, les fluctuations diurnes de la teneur en acide *iso*-citrique sont faibles. L'acidification tient principalement à l'accumulation d'acide malique, et la désacidification, à l'épuisement du stock. Dans l'obscurité, il se produit plus vite qu'il n'est consommé; à la lumière, c'est la consommation qui va le plus vite. A Newcastle, on a suggéré une explication de ces changements, et on l'a appuyée sur quelques preuves expérimentales.

Les chercheurs mentionnés ci-dessus ont établi, avec une certitude quasi totale, que l'acide malique provient d'un hydrate de carbone. Après la glycolyse, le mécanisme de Wood et Werkman (voir

FIG
1),
rhu
rou

FIG
acide
l'aci
feuil
citro
feuil
mûre

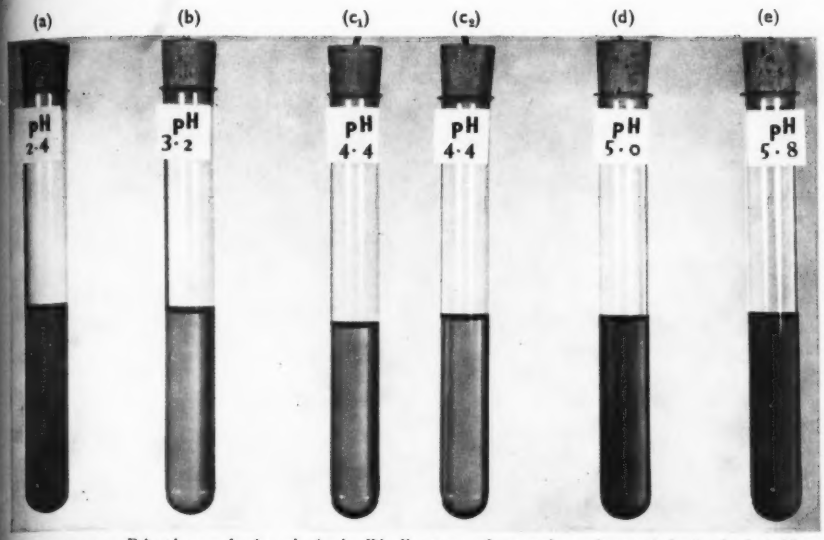


FIGURE 1 – *Réactions colorées vis-à-vis d'indicateurs, de certaines sèves exprimées (voir tableau* I*), dont les* p*H ont été auparavant déterminés.* (a) *Jus de citron et bleu de thymol;* (b) *jus de rhubarbe et bleu de bromophénol;* (c_1) *jus de tomate et vert de bromocrésol;* (c_2) *jus de tomate et rouge méthyle;* (d) *jus de céleri et vert de bromocrésol;* (e) *jus de bette et pourpre de bromocrésol.*

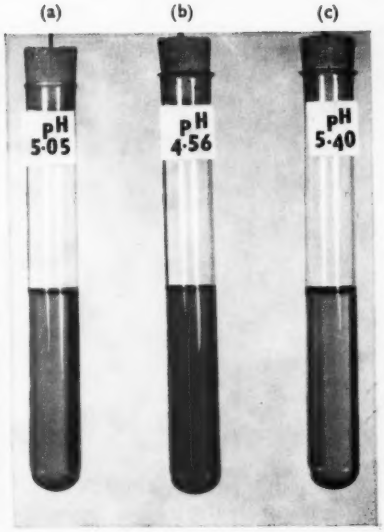


FIGURE 2 – *Couleurs obtenues par addition de rouge méthyle à la sève exprimée de feuilles de* Bryophyllum, *traitées comme indiqué au tableau* III (a), (b) *et* (c).

FIGURE 3 – *Les plantes de cette collection accumulent un ou plusieurs acides végétaux dans leurs organes, mais sans variation diurne de l'acidité. Les spécimens comprennent: pomme, pétiole de rhubarbe, feuilles de tabac, et* Pelargonium *à feuille de lierre (acide malique); citron (acide citrique); mûres et feuilles de mûrier (acide* iso-*citrique), feuilles de* Begonia, Oxalis, *et rhubarbe (acide oxalique); bette non mûre (acides aconitique et tricarballylique).*

FIGURE 4 – *Les plantes de cette collection accumulent les acides dans l'obscurité, pendant certaines saisons, et les consomment ensuite dans la journée. De gauche à droite: (Rayon supérieur)* Bryophyllum calycinum, Kalanchoe *sp.; (Deuxième rayon)* Crassula lactea, Opuntia cylindrica; *(Troisième rayon)* Echeveria *sp.*, Opuntia Engelmannii; *(Rayon inférieur)* Sedum praealtum, Crassula arborescens, Sempervivum *sp.*

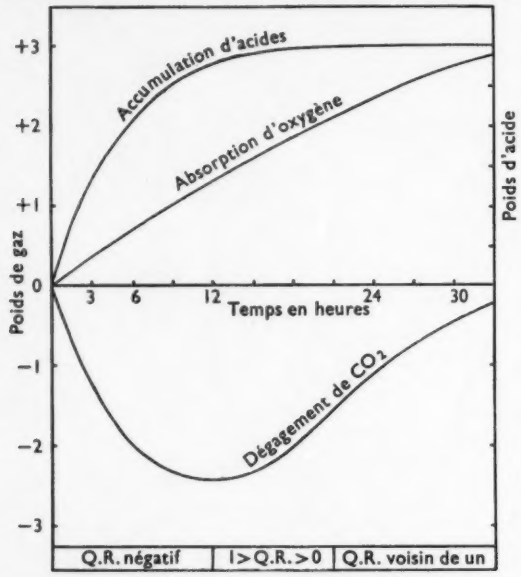


FIGURE 5 – *Courbes donnant une représentation générale des expériences de Beevers et Ranson, à Newcastle. Il y a absorption simultanée de gaz carbonique et d'oxygène à partir d'un mélange oxygène + gaz carbonique (5%), avec simultanément une acidification intense des plantes à l'obscurité, pendant le métabolisme acide du type Crassulacées. Le quotient respiratoire est négatif pendant cette période. Plus tard, la vitesse d'acidification décroît, le quotient devient positif, en s'accroissant régulièrement de 0 à 1. Il y a alors des échanges respiratoires normaux selon l'équation:*

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$$

Quand le quotient respiratoire est compris entre zéro et un, une partie du gaz carbonique respiratoire est utilisée à la synthèse d'acide malique, et par suite, ne se dégage pas. Voici une équation globale possible pour cette synthèse:

$$C_6H_{12}O_6 + 2CO_2 = 2C_4H_6O_5$$

Quand il a une valeur négative, il y a consommation de gaz carbonique absorbé par les feuilles, en plus du gaz carbonique respiratoire.

figure 6), à partir de l'acide pyruvique ou de son dérivé phosphoré, peut conduire soit à la synthèse d'acide oxalacétique qui est réduit en acide malique par l'action successive des enzymes carboxylase oxalacétique et deshydrogénase malique, soit à la synthèse directe d'acide malique par ce que l'on appelle l'enzyme malique.

La réaction de Wood et Werkman implique la fixation de gaz carbonique. C'est au cours d'expériences sur des bactéries et sur le foie du pigeon que l'on a montré pour la première fois que le gaz carbonique est un métabolite essentiel dans la biosynthèse des acides dicarboxyliques. L'examen de certaines observations relatives aux échanges gazeux chez les plantes à métabolisme acide du type Crassulacées suggère avec insistance que l'accumulation d'acides à l'obscurité est corrélative de la fixation du gaz carbonique respiratoire. Il y a environ 150 ans, Th. de Saussure, dans ses «Recherches Chimiques sur la Végétation», a montré que des bourgeons de cactus, placés après le coucher du soleil dans un espace clos, absorbaient l'oxygène sans dégager de gaz carbonique: le quotient respiratoire était donc zéro. De nombreuses expériences, effectuées à Newcastle en 1946, et ensuite, les résultats du laboratoire de Bonner, en Californie, ont donné des preuves de cette fixation.

Si des feuilles qui ne présentent pas de métabolisme acide du type Crassulacées sont placées, à l'obscurité, dans une atmosphère enrichie en gaz carbonique, il y a absorption d'oxygène, libération de gaz carbonique, et le quotient respiratoire est voisin de l'unité. Il y a un contraste frappant avec les feuilles où s'accumule l'acide malique à l'obscurité: au début d'une période obscure, il peut y avoir absorption simultanée de gaz carbonique et d'oxygène (voir figure 5). Le dégagement de CO_2 peut être considéré comme négatif, ce qui entraîne une valeur négative du quotient respiratoire. En fait, ce phénomène singulier fut déjà observé par de Saussure. Les rares expérimentateurs qui ont remarqué ce phénomène dans la suite, l'ont écarté à la légère comme un simple effet de solubilité, sans signification physiologique. En fait, «l'effet de de Saussure» d'absorption de gaz carbonique pendant l'acidification à l'obscurité, ne pouvait recevoir d'interprétation jusqu'à la découverte de la réaction de Wood et Werkman.

La désacidification à la lumière, dans le métabolisme acide du type Crassulacées est attribuée à l'arrêt virtuel de l'approvisionnement en gaz carbonique des centres de synthèse acide dans les feuilles vertes. A la lumière, ce sont les chloroplastes qui utilisent ce gaz préférentiellement dans la photosynthèse, et il y en reste peu ou pas pour la réaction de Wood et Werkman. La consommation en acide continue, et comme les stocks ne sont pas refaits, l'acidité titrable de la sève décroît, et son *p*H s'élève.

LE CYCLE TRICARBOXYLIQUE

Il y a des preuves que le catabolisme aérobie des carbohydrates des tissus animaux se produit principalement d'une façon très voisine de celle que schématise la figure 6. La glycolyse par phosphorylation donne de l'acide pyruvique

$$CH_3.CO.COOH.$$

Ce dernier ou son dérivé phosphorylé peuvent se condenser directement avec l'acide oxalacétique déjà présent dans les cellules pour donner l'acide *cis*-aconitique. D'une autre façon, l'acide pyruvique peut d'abord se transformer en phosphate d'acétyle avant la condensation. Cette condensation est une décarboxylation oxydante. Il se produit alors une série d'hydratations, deshydrogénations et décarboxylations, chacune catalysée par des enzymes. Le fonctionnement normal des déshydrogénases, nécessite une absorption continue d'oxygène. L'acide *cis*-aconitique est décomposé par oxydation, avec libération de gaz carbonique et d'eau, et régénération de l'acide oxalacétique, qui joue de nouveau son rôle catalytique dans les changements cycliques indiqués par les gros traits sur la figure 6.

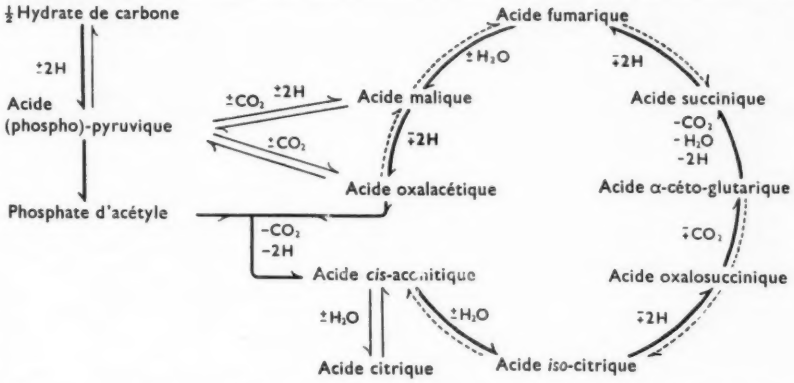


FIGURE 6 – *Représentation du cycle tricarboxylique, mécanisme possible de la production et de la consommation d'acides végétaux. On a prouvé que chaque réaction individuelle est réversible, sauf les décarboxylations oxydatives conduisant à la formation d'acides* cis-*aconitique et succinique.*

Il est remarquable que les acides qui, pense-t-on, se produisent dans ce cycle — acides *cis*-aconitique, citrique, *iso*-citrique, succinique, fumarique et malique — soient précisément ceux qui s'accumulent dans les tissus végétaux (voir page 160). C'est donc une hypothèse de travail utile d'admettre que leur production dans les plantes dépend du même mécanisme que celui mis en évidence dans le cas des tissus animaux, avec un ordre d'apparition identique. Cette conception n'a pas encore reçu de preuves bien substantielles. L'accumulation dans les tissus d'une plante d'un acide déterminé (acide citrique dans les fruits du citron, acide *iso*-citrique dans les mûres, acide fumarique dans la fumeterre) signifierait que les conditions dans la cellule, déterminées par les facteurs héréditaires, le degré de développement, et les conditions extérieures, en favorisent la production enzymatique plutôt que la consommation enzymatique.

On ne sait pas encore s'il y a des rapports entre la formation des acides oxaliques, tartriques et tricarballyliques, et les réactions du cycle tricarboxylique. Néanmoins, il y a de fortes preuves que certaines des substances produites dans ce cycle de transformations sont des composés intermédiaires dans la formation de certains acides aminés et d'autres métabolites importants. Les recherches effectuées depuis quinze ans ont donné aux acides végétaux une place prééminente dans les théories qui concernent le bilan chimique de toutes les cellules vivantes.

BIBLIOGRAPHIE

BENNET-CLARK, R. A. *New Phytol.*, **32**, 37, 128, 197, 1933.
Idem. Ann. Rev. Biochem., **18**, 639, 1949.
BONNER, W., et BONNER, J. *Amer. J. Bot.*, **35**, 113, 1948.
DE SAUSSURE, T. «Recherches chimiques sur la Végétation». 1804.
HEYNE, B. *Trans. Linn. Soc. Lond. Zool.*, **11**, 213, 1815.
KREBS, H. A. *Adv. Enzymol.*, **3**, 191, 1943.
NELSON, E. K. *J. Amer. Chem. Soc.*, **49**, 1300, 1927.
OCHOA, S. *J. biol. Chem.*, **159**, 243, 1945.
PAECH, K. «Biochemie und Physiologie der sekundären Pflanzenstoffe», Berlin, 1950.
PUCHER, G. W., VICKERY, H. B., ABRAHAMS, M. D., et LEAVENWORTH, C. S. *Plant Physiol.*, **24**, 610, 1949.
SMALL, J. «Hydrogen Ion Concentration. Protoplasma Monographien». Berlin, 1929.
THOMAS, M. «Plant Physiology», 1947.
Idem. New Phytol., **48**, 390, 1949.
THOMAS, M., et BEEVERS, H. *Ibid.*, **48**, 421, 1949.
THURLOW, J., et BONNER, J. *Arch. Biochem.*, **19**, 509, 1948.
VICKERY, H. B., et PUCHER, G. W. *Ann. Rev. Biochem.*, **9**, 529, 1940.
WERKMAN, C. H., et WOOD, H. G. *Adv. Enzymol.*, **2**, 135, 1942.
WOLF, J. *Planta*, **37**, 510, 1949.

Revue des livres

BOTANIQUE

REED, HOWARD S. *Jan Ingenhousz, Plant Physiologist, with a History of the Discovery of Photosynthesis.* Pp. 105, avec 8 planches. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass.; Wm. Dawson and Sons Limited, Londres. 1949. $3.

Le Dr. Reed s'est acquis la gratitude des botanistes en consacrant sa retraite à des études d'histoire botanique. Son premier livre était peut-être trop ambitieux pour satisfaire la majorité de ses lecteurs mais celui-ci, qui est une réimpression de «*Experiments on Vegetables*» par Ingenhousz avec commentaires éditoriaux, trouvera sa place dans toute bibliothèque botanique. Ce livre fut tout d'abord publié en anglais par son auteur en 1779. Il fait époque dans l'histoire de la physiologie végétale car il démontre que les plantes «ne peuvent purifier un air corrompu irrespirable» qu'à la lumière et que le siège de cette activité se trouve dans les feuilles.

On lit l'essai d'Ingenhousz avec plaisir pour trois raisons principales. Il est écrit tout d'abord avec un charme naïf qui prouve que le style inélégant adopté par la plupart des savants actuels n'est pas nécessaire à la clarté d'un texte. Il montre ensuite une courtoisie envers les autres botanistes (Priestley en particulier) qui suit une des plus grandes traditions scientifiques, et enfin rappelle aux physiologues que la méthode téléologique, bien que déplorable aux yeux des biologistes philosophes, peut conduire à des résultats scientifiques remarquables.

ERIC ASHBY

CHIMIE

ALEXANDER, ELLIOT R. *Principles of Ionic Organic Reactions.* Pp. 318. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 44s.

L'auteur s'efforce ici de découvrir les principes communs d'un grand nombre de réactions ayant pour résultat l'élimination ou l'addition de certains groupes. Il commence par l'étude de regroupements simples comme la formation d'ions de carbonium, mais passe bientôt à des processus plus complexes tels que les réactions de Grignard et de Wurtz, les condensations de Claisen, le couplage diazoïque et la migration de liens doubles. Ces principes se basent sur la structure électronique des liens, leur polarisation permanente et induite, leur résonance et autres manifestations et leur étude est qualitative et non mathématique. L'absence de mathématiques rendra l'ouvrage plus accessible aux chimistes organiques, bien que certains puissent regretter l'omission systématique de faits physico-chimiques fondamentaux comme les énergies libres, les vitesses de réaction et les températures. Ces renseignements aideraient grandement à comprendre les réactions, surtout si l'on considère que toute discontinuité de leur part révèle en général un changement dans le mécanisme de la réaction.

Dans l'ensemble nous avons là une revue très complète des réactions organiques ioniques et des connaissances antérieures à 1949 sur cette question. Le style est clair et facile à suivre. Félicitons son auteur d'avoir réussi dans sa tâche et produit une addition de valeur à la bibliothèque de tout chimiste organique.

E. GLUECKAUF

HYGIÈNE

WINSLOW, C. E. A., et HERRINGTON, L. P. *Temperature and Human Life.* Pp. 272. Princeton University Press, U.S.A.; Oxford University Press, Londres. 1949. 28s.

L'étude des réactions du corps humain aux conditions de son environnement débuta en 1614 lorsque parut *Ars de Medica Statica* de Sanctorius, mais les trois siècles suivants marquèrent peu de progrès. Il y eut toutefois de bonne heure des spécialistes du chauffage et de l'aération car on imaginait à tort que le but de cette dernière était d'enlever ou de dissoudre les poisons organiques contenus dans l'haleine et que c'était par accident, pour ainsi dire, que l'excès de chaleur du corps se trouvait détruit.

Ce livre nous fait un exposé clair et intéressant des travaux faits aux Etats-Unis au cours du siècle actuel par la société des Ingénieurs du Chauffage et de l'Aération (fondée il y a une trentaine d'années) et par les auteurs dans leur propre laboratoire, le laboratoire John B. Pierce d'Hygiène (établi en 1933). Les recherches qui y furent effectuées sous la direction du Dr. Winslow forment la plus grande partie du livre mais on y trouve aussi mention de travaux accomplis ailleurs et le tableau d'ensemble de nos connaissances d'hygiène expérimentale est complet. Les réactions du corps humain à une grande variété de températures, de degrés d'humidité, de courants d'air, de radiations de corps solides environnants et de degrés de fatigue sont décrites avec une clarté remarquable.

L'histoire du développement de nos connaissances actuelles est présentée de façon intéressante et contient des faits peu connus sur nos premiers efforts pour comprendre les fondements de l'hygiène de l'environnement. Selon Heidel ce fut un Grec, Erasistrate (IIIe siècle av. J. C.) qui, expérimentant avec un calorimètre respiratoire, découvrit la perte de poids de poulets placés dans un bocal due à ce que nous appelons transpiration insensible.

Le lecteur non-initié sera surpris de voir que, bien que le taux de métabolisme soit proportionnel à la surface de peau chez un mammifère, il varie très peu chez différents animaux de cet ordre sauf les très gros comme le cheval et l'éléphant, placés dans des conditions similaires.

L'équilibre thermique du corps humain requiert que le taux de production de chaleur à l'intérieur du corps soit équivalent aux effets combinés de la perte de chaleur par évaporation et le gain ou perte de chaleur par convection et radiation. Le troisième chapitre qui étudie les divers articles du budget thermique et décrit les réactions du corps aux variations de l'environnement est illustré de nombreux tableaux et diagrammes.

Les quatre chapitres suivants traitent de l'action protectrice des vêtements, des problèmes du conditionnement de l'air (qui sont physiques et cutanés, et non chimiques et respiratoires) des méthodes de conditionnement et des effets du climat et des intempéries sur la santé. La plupart de ces questions, surtout celle de l'habillement, devinrent urgentes pendant la guerre lorsqu'il fallut déterminer le genre de vêtements convenables à des extrêmes de température et d'effort physique. La présentation nous explique en détail les méthodes utilisées pour appliquer les résultats obtenus en laboratoire aux conditions extérieures très variées.

Une bibliographie bien choisie de 151 ouvrages termine le livre et récapitule

toutes les questions traitées au cours des sept chapitres. Le style très clair, le choix et l'étude minutieux des points envisagés font de ce livre un apport de valeur à la littérature d'hygiène expérimentale. Il comble un vide qui, par le passé, rendait impossible à quiconque, sauf un expert de ces questions, de se rendre compte des connaissances acquises et à acquérir dans ce terrain. Avec quelques notions de physiologie seulement, le lecteur pourra comprendre la plupart des discussions et des conclusions. Le spécialiste trouvera en même temps satisfaction dans d'autres sections du livre. L'épidémiologiste par exemple aimera particulièrement l'étude du climat, du temps et de leur influence sur la santé au chapitre VII.

D. BRUNT

PHYSIQUE

BORN, M., et GREEN, H. S. *A General Kinetic Theory of Liquids*. Pp. 98. Cambridge University Press, Londres. 1949. 10s. 6d.

Ce livre s'adresse au spécialiste et encore demandera-t-il un effort soutenu. Il est fait de six articles empruntés aux Comptes rendus de la *Royal Society*. Les quatre premiers sont consacrés à la théorie cinétique des liquides dans son ensemble et s'attachent surtout à établir une théorie mathématique adaptée aux liquides. On sait en effet que les molécules d'un liquide sont plus mobiles que celles d'un solide et pourtant ne se déplacent pas aussi indépendamment que celles d'un gaz. Cette théorie conduit à distinguer les sens divers et légitimes en soi des mots «pression» et «température» lorsqu'il s'agit de liquides en mouvement. Ces distinctions se trouvent au cinquième article qui envisage la thermodynamique sous son aspect cinétique. Cette méthode est appliquée dans le dernier article aux propriétés de l'hélium liquide pour essayer d'expliquer ses caractéristiques remarquables. L'ouvrage ne vise pas à être un traité complet des liquides mais plutôt à introduire un point de vue nouveau, riche de possibilités.

M. H. L. PRYCE

BRIDGMAN, P. W. *The Physics of High Pressure*. Pp. 445, avec diverses illustrations en demi-teintes et dessins. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1950. 35s.

Le spécialiste possède déjà cet ouvrage et n'a pas besoin de revue, mais de nombreux chercheurs en d'autres branches y trouveront une inspiration de valeur. Il ne faut pas beaucoup de curiosité scientifique, en effet, pour prendre plaisir à ce compte rendu fait par un pionnier de la science. Nous revivons les difficultés techniques vaincues pour produire des pressions atteignant 100 000 kg/cm² et l'émerveillement ressenti à la découverte de leurs étranges conséquences. L'acier, par exemple devient si ductile à 25 000 kg/cm² qu'il subit une élongation pour ainsi dire infinie; de nombreux liquides augmentent leur viscosité des millions de fois et deviennent solides.

L'introduction historique est suivie de trois chapitres sur la partie technique; puis d'autres traitant séparément des relations *PVT* dans les liquides, de la compressibilité des solides, des phénomènes de fusion, des transitions polymorphiques, de la résistance électrique des métaux et des solides, des phénomènes thermo-électriques, de la conductibilité thermique et de la viscosité. Le chapitre final est un pot-pourri étudiant l'effet de la pression sur la solubilité, la conductibilité électrique des solutions, la constante diélectrique, l'indice de réfraction et autres constantes optiques, la force électromotrice d'une pile, la perméabilité magnétique, la rigidité et le coefficient d'élasticité. Un supplément sur des travaux récents termine l'ouvrage.

La méthode de Bridgman consiste dans l'ensemble à passer en revue les effets principaux de la pression sur les diverses propriétés physiques et chimiques de la matière, à montrer que la théorie est incapable de prévoir ou d'expliquer, dans la plupart des cas, tous les changements observés, et à esquisser une théorie qualitative personnelle qu'il ne revendique pas pour infaillible. Le sol est finalement jonché de théories mortes. Une exception à noter: celle d'Andrade sur les variations de la viscosité avec la pression. Il est grand temps, semble-t-il, qu'une conception nouvelle vienne unifier la physique des hautes pressions.

D. O. SPROULE

JELLINEK, KARL. *Weltsystem, Weltäther, und die Relativitätstheorie*. Pp. XVI + 450. Wepf and Company, Bâle. 1949. 45 francs suisses.

Il semble à l'auteur que la plupart des savants expérimentateurs n'aient qu'une idée vague de la relativité et souffrent de cette confusion; ils se demandent s'il vaut la peine d'oublier les conceptions habituelles d'espace et de temps et si la question de l'existence de l'éther a été définitivement résolue. Ce livre s'adresse à eux et aux philosophes plutôt qu'aux spécialistes de la physique théorique capables de suivre le traité d'Eddington. Il est à la fois œuvre de vulgarisation et manuel de mathématiques et pour cette raison évite autant que possible le milieu abstrait à quatre dimensions de l'espace-temps. L'étude de certains points, comme l'expérience Michelson-Morley, celle de Kennedy-Thorndike, l'aberration et l'effet Fresnel-Fizeau, occupe une place beaucoup plus grande. La théorie générale de la relativité n'est donc pas étudiée à fond et l'on voit que l'auteur a préféré traiter des problèmes spécifiques comme le champ-gravitation homogène et le champ du soleil.

Le point de vue historique est assez faible, les références étant souvent à d'autres manuels au lieu d'articles originaux. Malgré ses longueurs, le livre sera utile à beaucoup.

E. T. WHITTAKER

NAHMIAS, MAURICE E. *Machines Atomiques*. Pp. 310, avec de nombreux diagrammes linéaires et en demi-teintes. Editions de la Revue d'Optique Théorique et Instrumentale. Paris 1950. Relié, 1480 francs; broché, 1200 francs.

Ce livre reprend et élargit un travail antérieur (*«Le Cyclotron»*, 1945) et décrit tous les accélérateurs à particules connus, et d'autres qui le sont moins tels que l'installation suisse où l'on a essayé d'accumuler une source de 10 MV en dérivant la charge électrique de nuages orageux. Chaque dispositif est décrit avec exactitude et concision et les équations de mouvement des particules accélérées sont développées. On trouve dans chaque cas des exemples numériques appropriés, applicables aux machines existantes qui sont d'un grand secours lorsqu'il s'agit d'interpréter les formules finales. Les principes et propriétés des piles atomiques sont brièvement mais bien décrits.

Parmi les descriptions de machines, l'auteur étudie les divers genres de réactions nucléaires qu'elles rendent possibles, augmentant ainsi la variété et l'attrait de l'ouvrage qui sera des plus utiles aux physiciens s'adonnant à la production des particules à grande énergie.

Les chiffres cités ne sont pas toujours exacts; le cyclotron de Birmingham, par exemple, a 155 cm et non pas

100 cm et la tension et le courant cités pour le synchrotron à protons sont dix fois trop faibles. On regrette qu'il n'y ait pas d'index. J. H. FREMLIN

ROMAN, W. *The Scientist's Ready Reckoner* (Le barème du savant). Pp. 142. Dr. W. Junk. La Haye, Hollande. 1950. fl. 6,50.

Cette collection inhabituelle de tables s'adresse aux chimistes et physiciens de laboratoires d'analyse mais rendra aussi service aux techniciens. On y trouve: (1) Une liste des poids atomiques internationaux avec leurs logarithmes; (2) et (3) des tables de poids atomiques suivies d'une liste presque complète des composés et des poids de radicaux les plus communs; (4) et (5) les facteurs gravimétriques et volumétriques avec leurs logarithmes; (6) les gravités spécifiques des liquides et des solutions; (7) une table de conversion des températures de l'échelle Kelvin en degrés Fahrenheit et centigrades avec sa partie inverse; (8) et (9) des tables de logarithmes à quatre et cinq chiffres.

La présentation du livre est excellente mais il y a quelques points de détail à signaler. La table (7) par exemple manque de clarté à cause de la séparation insuffisante des groupes de chiffres. La tendance actuelle est en effet de compter moins sur les traits et d'utiliser davantage les espacements pour séparer rangées et colonnes.

On annonce la publication prochaine d'autres tomes; la Seconde Partie doit contenir «une liste complète des indices de conversion des poids et mesures nationaux, internationaux et métriques avec leurs logarithmes».

Cette Première Partie sera utile à beaucoup, étant, nous le répétons, d'usage facile, de bonne présentation et de prix raisonnable.

ALLAN FERGUSON

SULLIVAN, WILLIAM H. *Trilinear Chart of Nuclear Species*. Illustrations de Kay Benscoter. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 20s.

Grâce à la production artificielle de noyaux lourds, la liste des éléments chimiques atteindra bientôt la centaine. De plus chaque élément a des formes isotopes de constitution nucléaire différente et le nombre total d'espèces nucléaires reconnues est de neuf cents, dont la plupart ont été produites artificiellement et sont instables. De certaines, nous ne connaissons que leur constitution nucléaire (c'est-à-dire le nombre de neutrons et de protons qu'elles contiennent) et, si elles sont instables, leur mode de désintégration radio-active. Mais pour d'autres, nous savons des détails tels que la masse exacte, le moment angulaire nucléaire et l'énergie des particules, ou photons, émise à la désintégration.

On a coutume de résumer les propriétés principales des noyaux atomiques sur un graphique où chaque espèce nucléaire occupe une division de la grille. La position de cette dernière correspond à la constitution en neutrons et protons du noyau, tandis que les nombres et symboles qui y figurent indiquent les faits connus sur le noyau dans la mesure permise par 3 cm² environ. Si un déplacement à droite représente un proton de plus et un dirigé en haut un neutron de plus, une transformation β entre deux isobares correspond à un déplacement en diagonale à droite et en bas. C'est E. Segrè qui donna le modèle de ces graphiques.

Dans celui-ci, les co-ordonnées neutron et proton ne sont pas à angle droit mais à 60° l'une de l'autre, les transformations β étant représentées par des déplacements dans la troisième direction à 60° des axes neutron et proton. Les divisions ne sont plus des carrés mais des hexagones comme dans un rayon de miel. La stabilité ou l'instabilité et, dans ce dernier cas, le(s) mode(s) de désintégration sont indiqués par des couleurs choisies au préalable, ce qui laisse davantage de place pour les renseignements numériques et symboliques.

La disposition trilinéaire tend à égaliser l'importance donnée au nombre de neutrons, de protons et des deux réunis bien qu'ils ne soient pas si clairement indiqués que les deux premiers sur un graphique ordinaire. Que cette disposition soit préférable ou non dépend des besoins du lecteur, tout comme le système de Mercator selon l'usage que l'on veut faire d'une carte.

P. B. MOON

Interaction entre le Noyau et son Cortège Electronique. Réunions d'études et de mises au point tenues sous la présidence de Louis de Broglie. Pp. 198 avec des figures. Editions de la Revue d'Optique Théorique et Instrumentale, Paris. 1949. 800 francs.

Le livre est fait d'une série d'articles sur certaines actions internes entre le noyau et les électrons environnants d'un atome dont la plus connue est le phénomène appelé «Conversion interne». Les deux aspects, théorique et expérimental des problèmes sont traités, mais dans l'ensemble la théorie domine. Les auteurs semblent s'adresser à l'expérimentateur n'ayant qu'un bagage théorique restreint et désirant le développer. L. De Broglie a écrit lui-même un admirable exposé des principes fondamentaux et R. Daudel dans le premier article les applique à des points particuliers utilisant la nouvelle théorie de De Broglie sur la lumière qui envisage le photon comme une particule de masse-repos petite mais non nulle et capable de trois états de «spin». L'espace est plein de photons «annihilés» et invisibles, mais que l'on peut ramener à la vie comme les électrons de l'infinité d'états d'énergie négative de Dirac. Les conséquences de cette théorie ne semblent pas différer profondément, en ce qui concerne le thème de l'ouvrage, de celles qui résultent de l'emploi de théories mieux connues.

Le but général du livre est de montrer que l'interaction entre le centre de l'atome, le noyau, et les électrons qui l'entourent est plus variée qu'on ne le suppose généralement et, en particulier, que l'absence de certains ou de tous les électrons externes peut affecter le comportement radioactif du noyau. Ce sont là des manifestations naturellement peu importantes et dans certains cas discutables, mais il est certain qu'il se produit quelque chose de la sorte. Les premiers expérimentateurs furent en effet impuissants à changer l'activité du radium et des autres corps radioactifs. Comme il se passe souvent en science, les principes d'une génération ne semblent à la suivante que des vérités approchées, la réalité étant beaucoup plus compliquée. Ils n'en sont pas moins utiles aux progrès de la science. G. P. THOMSON

Livres reçus

(*Note.* La mention à cette page n'exclut pas la possibilité de revue ultérieure.)

ASTRONOMIE

SIDGWICK, J. B. *Introducing Astronomy.* Pp. 259, avec des illustrations en demi-teintes et des dessins. Faber and Faber Limited, Londres. 1951. 15s.

SMART, W. M. *The Origin of the Earth* (Origine du globe). Pp. 239, avec de nombreuses illustrations en demi-teintes et des dessins. Cambridge University Press, Londres. 1951. 12s. 6d.

VON WEIZSÄCKER, C. F. *The History of Nature.* Pp. 180, avec huit planches en demi-teintes. Routledge and Kegan Paul Limited, Londres. 1951. 12s. 6d.

BIOCHIMIE

WILLIAMS, R. T. (rédacteur-en-chef). *The Biochemistry of Fish* (Biochimie des poissons). Conférences de Biochimie No. 6. Pp. 105, avec plusieurs diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres. 1951. 12s. 6d.

BOTANIQUE

CHAPMAN, V. J. *Seaweeds and their Uses* (Utilisation des algues). Pp. 287 avec de nombreuses illustrations en demi-teintes et des dessins. Methuen and Company Limited, Londres. 1950. 25s.

COWAN, J. M. *The Rhododendron Leaf.* Pp. 120, avec des planches en couleurs et en demi-teintes. Oliver and Boyd Limited, Edimbourg. 1951. 21s.

KELLY, ARTHUR P. *Mycotrophy in Plants.* Pp. 233, avec plusieurs diagrammes linéaires. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., U.S.A.; Wm. Dawson and Sons Limited, Londres. 1950. $4.50.

CHIMIE

BARON, A. L. *Handbook of Antibiotics* (Manuel des antibiotiques). Pp. 303. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 52s.

CHARLOT, G., et GAUGIN, R. *Les Méthodes d'Analyse des Réactions en Solution.* Pp. 328, avec 242 figures. Masson et Cie., Paris. 2200 francs.

FISCHER, EARL K. *Colloidal Dispersions.* Pp. 387, avec plusieurs diagrammes linéaires. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 60s.

FÖRSTER, THEODOR. *Fluoreszenz organischer Verbindungen* (Fluorescence des composés organiques). Pp. 312, avec plusieurs diagrammes linéaires. Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen. 1951. Broché 29,50 marks; relié, 32,50 marks.

FUSON, REYNOLD C. *Advanced Organic Chemistry.* Pp. 669. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 64s.

GALLAIS, F. *Chimie Minérale Théorique et Expérimentale* (*Chimie Electronique*). Pp. 810, avec 42 illustrations. Masson et Cie., Paris. 1951. Broché 2400 francs; relié toile, 2800 francs.

HILDEBRAND, JOEL H., et SCOTT, ROBERT L. *The Solubility of Nonelectrolytes.* Pp. 488, avec de nombreux diagrammes linéaires. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 3e édition. 1950. 80s.

PIETERS, H. A. J., en collaboration avec Creyghton, J. W. *Safety in the Chemical Laboratory* (Sécurité au laboratoire). Pp. 258, avec divers diagrammes linéaires. Butterworth's Scientific Publications Limited, Londres. 1951. 15s.

ROSSINI, FREDERICK D. *Chemical Thermodynamics.* Pp. 514. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 48s.

WETMORE, F. E. W., et LE ROY, D. J. *Principles of Phase Equilibria.* Pp. 200, avec divers diagrammes linéaires. McGraw-Hill Publishing Company Limited, Londres. 1951. 30s.

INDUSTRIE

CAMPBELL, D. A., RIDDELL, W. J. B., et MACNALTY, A. S. *Eyes in Industry.* Pp. 234, avec des illustrations en demi-teintes et en couleurs. Longmans, Green and Company, Londres. 1951. 30s.

MÉTALLURGIE

KUBASCHEWSKI, O., et EVANS, E. LL. *Metallurgical Thermochemistry.* Pp. 368, avec de nombreux diagrammes linéaires. Butterworth-Springer Limited, Londres. 1951. 35s.

PHOTOGRAPHIE

SPENCER, D. A., rédacteur-en-chef. *Progress in Photography* 1940–1950. Pp. 460, avec de nombreuses illustrations en couleurs et des diagrammes linéaires. Focal Press Limited, Londres. 1951. 42s.

PHYSIQUE

BLAKE, G. G. *Conductive Analysis at Radio-Frequency.* Pp. 109, avec divers diagrammes linéaires. Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 15s.

GLASSTONE, SAMUEL. *Source Book on Atomic Energy.* Pp. 546, avec des diagrammes linéaires et en demi-teintes. Macmillan and Company Limited, Londres. 1951. 24s.

PORTER, A. *An Introduction to Servo Mechanisms.* Pp. 154, avec de nombreux diagrammes linéaires. Methuen and Company Limited, Londres. 1950. 7s.6d.

VICOMTE SAMUEL. *Essay in Physics.* Pp. 154. Basil Blackwell, Oxford. 1951. 7s. 6d.

WILSON, J. G. *The Principles of Cloud-Chamber Technique.* Pp. 131, avec de nombreux diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres. 1951. 15s.

SCIENCE GÉNÉRALE

DINGLE, HERBERT, publié sous la direction de. *A Century of Science,* avec des illustrations en demi-teintes et des dessins. Pp. 338. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1951. 15s.

TECHNOLOGIE

DICKSON, J. HOME. *Glass: a Handbook for Students and Technicians.* Pp. 300, avec de nombreuses illustrations en demi-teintes et des dessins. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1951. 25s.

VAN NES, K., et VAN WESTEN, H. A. *Aspects of the Constitution of Mineral Oils.* Pp. 484, avec de nombreux diagrammes linéaires. Elsevier Publishing Company Limited, Amsterdam; Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1951. 70s.

ZOOLOGIE

CARTER, G. S. *Animal Evolution.* Pp. 368, avec des illustrations en demi-teintes et des dessins. Sidgwick and Jackson Limited, Londres, 1951. 30s.

DE BEAUFORT, L. F. *Zoogeography of the Land and Inland Waters* (Géographie animale des eaux intérieures et des terres). Pp. 208, avec plusieurs dessins. Sidgwick and Jackson Limited, Londres. 1951. 30s.

Notes biographiques sur les collaborateurs

SIR HAROLD SPENCER JONES

Occupe le poste d'Astronome Royal depuis l'année 1933. Est né à Londres en 1890 et étudia à *Jesus College*, Cambridge. De 1923 à 1933 fut Astronome de Sa Majesté au Cap de Bonne-Espérance. Fut fait chevalier en 1943. Il a reçu la Médaille Royale de la *Royal Society*, la Médaille d'Or de la *Royal Astronomical Society*, la Médaille Janssen de la Société Astronomique de France, la Médaille d'Or Bruce de l'*Astronomical Society of the Pacific* et la Médaille d'Or du *British Horological Institute*. Ancien président de la *Royal Astronomical Society*, de la *British Astronomical Society*, de l'*Institute of Navigation* et de l'*International Astronomical Union*; président du *British Horological Institute* et de la *Society for Visiting Scientists*. Il est membre étranger de nombreuses académies nationales et membre honoraire de nombreuses sociétés astronomiques des Dominions et de l'étranger.

H. J. J. WINTER

Est né en 1912 et fit ses études aux collèges universitaires de Nottingham et d'Exeter. Est membre de l'*History of Science Society* et de la *British Society for the History of Science*. Est Maître de conférences pédagogiques au collège universitaire d'Exeter et a publié de nombreux articles d'histoire scientifique.

H. BOSCHMA

Est né à Ysbrechtum (Pays-Bas) en 1893; étudia la biologie à l'Université d'Amsterdam. Séjourna aux Indes orientales de 1920 à 1922; étudia les récifs de corail sur les îles au large de Java et accompagna le Dr. Th. Mortensen dans l'expédition danoise aux îles Keï. Fit partie de l'expédition Snellius dans la partie orientale de l'Archipel indonésien (1929–30) à titre de biologiste. En 1939 fut zoologiste de l'expédition néerlandaise à la Nouvelle Guinée. De 1931 à 1934 enseigna la zoologie générale à l'Université de Leyde. En 1934 devint directeur du *Rijksmuseum van Natuurlijke Historie* et professeur de zoologie systématique à l'Université de Leyde.

C. M. YONGE

Actuellement Professeur Royal de Zoologie à l'Université de Glasgow apres avoir enseigné de 1933 à 1944 à l'Université de Bristol. Il est né en 1899 et fit ses études à l'Université d'Edimbourg. Fit partie du personnel de la *Marine Biological Association* de Plymouth entre 1924 et 1927 et à nouveau de 1930 à 1932. Il dirigea l'Expédition du Récif de la Grande Barrière d'Australie en 1928–9. Il a fait des recherches dans de nombreux laboratoires maritimes des côtes européennes de l'Atlantique et de la Méditerranée, des côtes de l'Amérique du Nord, aux Bermudes, au golfe du Mexique (où il poursuivit ses travaux sur les récifs de corail) et à Honolulu. Il visita l'Université de Californie à Berkeley en 1949. Il est président de la *Scottish Marine Biological Association* et préside le Comité de surveillance des recherches sur la truite brune au *Scottish Home Department*. Il est aussi membre du comité consultatif pour le développement de la pêche à la Commission de Développement, du Comité exécutif de l'Institut National d'Océanographie, du Comité consultatif des pêcheries au *Colonial Office* et du Comité écossais pour la protection de la nature.

ERNA GROSSBARD

Née à Vienne. Fit ses études aux Universités de Vienne, de Reading, de Cambridge et de Londres. Commença à étudier la formation des antibiotiques dans le sol et la mise en échec des maladies végétales au moyen de l'antagonisme microbien en 1945, à la Station expérimentale et de recherches de Cheshunt.

T. A. BENNET-CLARK

Né à Edimbourg en 1903. Etudia à *Trinity College*, Cambridge. A été Maître de conférences à l'Université de Manchester et Professeur de botanique à Nottingham; occupe actuellement une chaire de botanique à *King's College*, Londres.

HAROLD ROXBEE COX

Né en 1902. Etudia à l'*Imperial College of Science and Technology*. Fut Ingénieur principal des Usines Royales de Dirigeables en 1931; Directeur Scientifique de la section aérodynamique au même établissement (1935); Président et directeur exécutif des usines *Power Jets Ltd.* (1944); Directeur de l'Etablissement national des turbines à gaz (1946). A été gouverneur du Collège d'Aéronautique et membre du Conseil de Recherche aéronautique. Est chef des travaux scientifiques au Ministère des Combustibles depuis 1948. A publié de nombreux articles sur la théorie de la construction, la vibration des ailes, les turbines à gaz, l'aviation civile et les dirigeables.

MEIRION THOMAS

Né en 1894. Etudia au collège universitaire de la Galles du Nord (1912–14) et à *Trinity Hall*, Cambridge (1919–24). Occupe la chaire de botanique à *King's College*, Newcastle upon Tyne où depuis 1924 il enseigne la botanique et la physiologie végétale. A publié «*Textbook on Plant Physiology*», des articles sur le catabolisme des hydrates de carbone avec accumulation d'alcool (zymase) et les rapports de la zymase avec certaines maladies des pommes et, plus récemment, des articles sur le métabolisme de l'acide des crassulacées.